



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

**ΠΑΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΑΚΑΚΗΣ**

**«ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ  
ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM10 ΣΤΗΝ  
ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ»**

**«STUDY OF AEROSOLS PM10  
IN THE REGION OF  
THESSALONIKI»**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2017

**ΠΑΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΑΚΑΚΗΣ**

«ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM10 ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ  
ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ»

«STUDY OF AEROSOLS PM10 IN THE REGION OF  
THESSALONIKI»



Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας  
Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΖΑΝΗΣ ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ**

© Παύλος Δημητρακάκης, Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

«ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM10 ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ  
ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ»

«STUDY OF AEROSOLS PM10 IN THE REGION OF  
THESSALONIKI»



Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αυτή η διπλωματική εργασία αποτελεί την κορύφωση των σπουδών μου στο τμήμα Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης.

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα πρώτα απ' όλα να ευχαριστήσω για ακόμη μια φορά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Πρόδρομο Ζάνη για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστώ μαζί του και να ασχοληθώ με τη σωματιδιακή ρύπανση, καθώς επίσης για τον χρόνο που μου διέθεσε, την υποστηρικτική παρουσία του και καθοδήγησή του κάθε φορά που χρειαζόμουν τη βοήθειά του.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους οι οποίοι με τα ενθαρρυντικά τους λόγια και την ψυχολογική τους υποστήριξη με βοήθησαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στο να ξεπερνάω κάθε δυσκολία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, η οποία πίστεψε στις δυνάμεις μου και στάθηκε αρωγός στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής.

Παύλος Δημητρακάκης  
Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 2017



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της ρύπανσης που προκαλούν τα αιωρούμενα σωματίδια στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης και κυρίως τα σωματίδια PM10, δηλαδή εκείνα με αεροδυναμική διάμετρο κάτω των 10 μικρομέτρων.

Η μελέτη επικεντρώνεται γύρω από τις βασικές έννοιες των αιωρούμενων σωματιδίων (κατανομή μεγέθους, χημική σύσταση, πηγές παραγωγής), στις επιπτώσεις τους στο κλίμα, το περιβάλλον και την υγεία του ανθρώπου καθώς επίσης και στις μεθόδους συλλογής και ανάλυσης τους. Περιγράφονται τα μορφολογικά, κλιματολογικά και μετεωρολογικά στοιχεία της Θεσσαλονίκης ως παράγοντες που επηρεάζουν την σωματιδιακή ρύπανση της περιοχής και γίνεται αναφορά των σταθμών καταγραφής των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων απ' τους οποίους συλλέχθηκαν τα δεδομένα της παρούσας διατριβής.

Μετά την συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων προέκυψε η σχηματική απεικόνιση της ετήσιας, μηνιαίας, ημερήσιας και της γενικότερης τάσης διακύμανσης της σωματιδιακής ρύπανσης με την πάροδο των ετών, η οποία δείχνει σε γενικές γραμμές πτωτική πορεία των συγκεντρώσεων PM10 σε όλους τους σταθμούς χωρίς όμως οι τιμές τους να βρίσκονται κάτω από τα θεσμοθετημένα όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης τόσο σε ετήσια όσο και σε ημερήσια βάση, γεγονός ανησυχητικό εφόσον τα υψηλότερα επίπεδα των συγκεντρώσεων αυτών παρατηρούνται στους σταθμούς που βρίσκονται στον αστικό ιστό της περιοχής.

Για το λόγο αυτό, προτείνονται βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα μέτρα αντιμετώπισης του φαινομένου εφόσον η προστασία της ατμόσφαιρας είναι ένα περιβαλλοντικό ζήτημα το οποίο επηρεάζει και επηρεάζεται από τον άνθρωπο.



## ABSTRACT

The subject of this thesis is the study of pollution caused by suspended particles in the wider area of Thessaloniki, and especially by PM10 particles, meaning the ones with an aerodynamic diameter less than 10 micrometers.

The study focuses on basic concepts of suspended particles (size distribution, chemical composition, production sources), their impact on climate change, the environment and human health, as well as methods of their collection and analysis. A description of the morphological, climatic and meteorological elements of Thessaloniki as affecting factors of the particle's pollution in the area is provided and the stations from which the data of the present work was collected and the suspended particles' concentrations were registered are also referenced.

After the data is collected and processed, a schematic display of the annual, monthly, daily and general trend of variance over the years is shaped, which generally shows a downward trend of PM10 concentrations in all stations, their values not being below the statutory limits of the European Union on both an annual and daily basis, which is worrisome, as the highest levels of these concentrations are observed in the stations located near the urban area.

For this reason, short- and long-term measures to counter the phenomenon are proposed, since protection of the atmosphere is an environmental issue that affects the human factor and is affected by it.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### 1. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

1.1 Γενικά.....	10
1.2 Γεωμετρία, χημεία και μορφές των σωματιδίων .....	10
1.3 PM10: Πηγές εκπομπής και χημική σύσταση.....	15
1.4 Σωματιδιακή ρύπανση στις πόλεις.....	17
1.5 Επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον .....	20

### 2. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Συλλογή και ανάλυση αιωρούμενων σωματιδίων.....	23
2.2 Μεθοδολογία υπολογισμών .....	24
2.3 Η περιοχή της Θεσσαλονίκης και σταθμοί μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων .....	25
2.3.1 Μορφολογία της περιοχής .....	25
2.3.2 Κλιματολογία και Μετεωρολογία της περιοχής.....	25
2.3.3 Σταθμοί μέτρησης της περιοχής .....	27
2.4 Σωματιδιακή ρύπανση στη Θεσσαλονίκη.....	30

### 3. ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

3.1 Γενικά.....	33
3.2 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων PM10 .....	33
3.3 Μέση μηνιαία μεταβολή συγκεντρώσεων PM10.....	35
3.4 Μέση ωριαία μεταβολή και ημερήσιοι κύκλοι ανά εποχή συγκεντρώσεων PM10.....	39
3.5 Τάση διακύμανσης συγκεντρώσεων PM10 .....	47
3.6 Επίδραση παραγόντων στη συγκέντρωση σωματιδίων .....	49
3.7 Μελέτη υπερβάσεων των ορίων σωματιδιακής ρύπανσης.....	50





#### **4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**

4.1 Συμπεράσματα από τη μελέτη της σωματιδιακής ρύπανσης στην περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	58
4.2 Προτάσεις αντιμετώπισης του φαινομένου.....	59
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>61</b>





# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

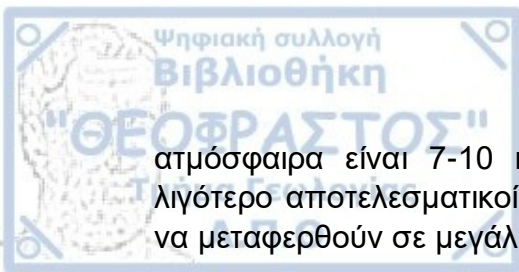
Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η παρουσία ρύπων δηλαδή κάθε είδους ουσιών, θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας στην ατμόσφαιρα, σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια τέτοια που μπορεί να προκαλέσει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου και στο περιβάλλον. Στο παρόν κεφάλαιο θα εξεταστεί ένα στοιχείο αυτής, οι αέριοι ρύποι και συγκεκριμένα τα αιωρούμενα σωματίδια PM10. Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM: Particulate Matter) απαντώνται τόσο στην τροπόσφαιρα(δηλαδή, από το έδαφος έως περίπου τα 10-12 km ύψος), όσο και στην στρατόσφαιρα (12-40 km ύψος), οι πηγές και τα χαρακτηριστικά τους όμως είναι αρκετά διαφορετικά. Τα σωματίδια PM10 βρίσκονται στην ατμόσφαιρα σε κάθε φάση και σύσταση, εκτός καθαρό νερό, των οποίων η αεροδυναμική διάμετρος είναι μικρότερη από 10 μικρότερα και είναι εισπνεόμενα. Η προέλευση τους είναι κυρίως ανθρωπογενής.

## 1.2 Γεωμετρία, χημεία και μορφές των σωματιδίων

Τα αιωρούμενα σωματίδια διακρίνονται συνήθως σε τρεις κατηγορίες, αναφορικά με τις διαστάσεις τους : τους πυρήνες συμπύκνωσης (σωματίδια Aitken) ( $d \leq 0.1 \mu\text{m}$ ), τα συσσωματώματα ( $0.1 \mu\text{m} \leq d \leq 1 \mu\text{m}$ ), και τα γιγάντια σωματίδια (coarse) ( $d > 1 \mu\text{m}$ ).

Σωματίδια που βρίσκονται σε κατάσταση πυρηνοποίησης (nucleation mode) ( $D < 0,1 \mu\text{m}$ ) συνθέτουν τον τρόπο σχηματισμού πυρήνων (ή Aitken). Αυτά τα σωματίδια παράγονται με ομοιογενείς και ετερογενείς διαδικασίες πυρήνωσης. Σχηματίζονται είτε κατά τη διάρκεια της συμπύκνωσης φυσικού αερίου-σωματιδίων είτε κατά τη διάρκεια της συμπύκνωσης θερμού ατμού στις διεργασίες καύσης. Λόγω της ταχείας πήξης τους ή της τυχαίας πρόσκρουσης τους στις επιφάνειες, ο χρόνος ζωής αυτών των μικρών σωματιδίων είναι πολύ μικρός (μερικών λεπτών έως ώρες).

Τα σωματίδια που βρίσκονται σε κατάσταση προσαύξησης (accumulation mode) ( $0,1 \mu\text{m} < D < 1 \mu\text{m}$ ) ,σχηματίζονται κυρίως με πήξη μικρότερων σωματιδίων ή συμπύκνωση ατμών σε υπάρχοντα σωματίδια και κατά τη διάρκεια αυτών των μηχανισμών αναπτύσσονται σε αυτό το εύρος μεγέθους. Ταυτόχρονα, μπορούν επίσης να εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από διαφορετικές πηγές, κυρίως από ατελή καύση. Η διάρκεια ζωής τους στην



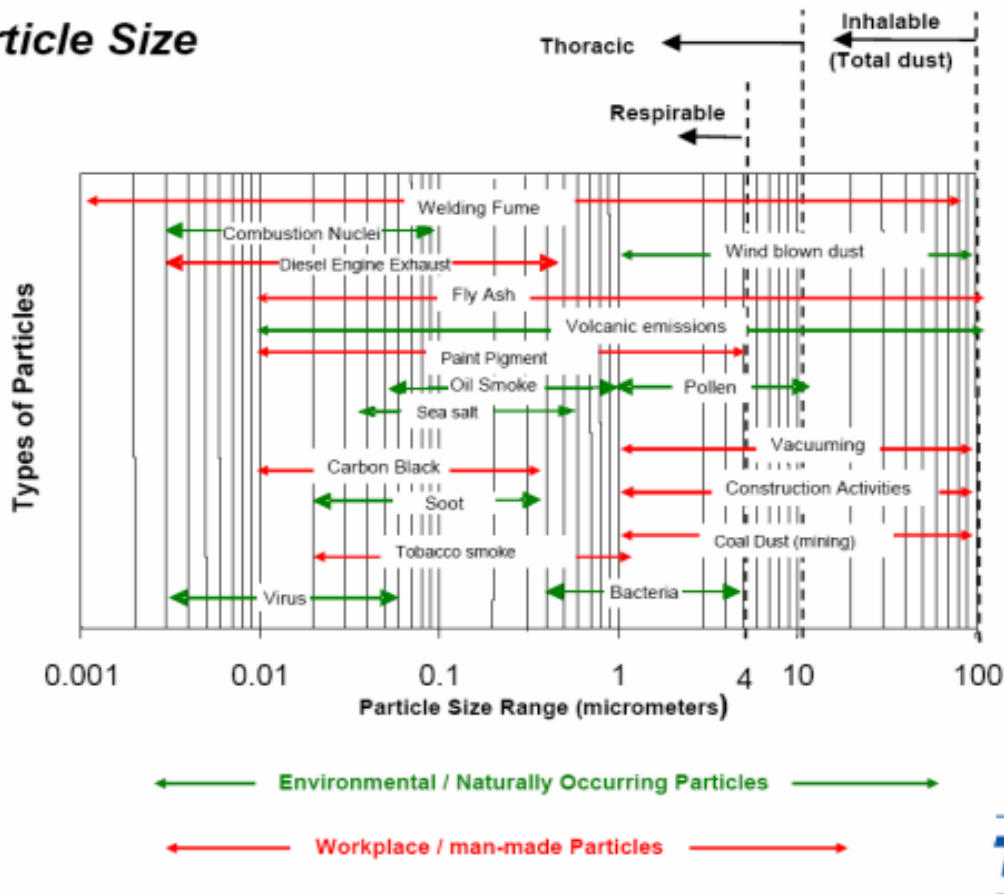
ατμόσφαιρα είναι 7-10 ημέρες διότι οι μηχανισμοί αφαίρεσης τους είναι λιγότερο αποτελεσματικοί και κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλη απόσταση από τις πηγές τους.

Τα σωματίδια που βρίσκονται σε τραχιά κατάσταση (coarse mode) ( $D > 1 \mu\text{m}$ ), εκπέμπονται ως επί το πλείστον στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια μηχανικών διεργασιών τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς πηγές (π.χ. σωματίδια θαλάσσιου άλατος από την επιφάνεια του ωκεανού, ορυκτή σκόνη, βιολογικά υλικά). Λόγω της σχετικά μεγάλης μάζας τους, έχουν σύντομες ατμοσφαιρικές διάρκειες λόγω της ταχείας καθίζησης τους. Το μέγεθος και η σύσταση των σωματιδίων στον αέρα μπορεί να μετατραπεί λόγω της συμπύκνωσης ατμών διαφόρων ουσιών, της εξάτμισης ατμών, της συσσωμάτωσης με άλλα σωματίδια και τις χημικές αντιδράσεις. Είναι φανερό, ότι όσο μεγαλώνει η διάμετρος των αιωρούμενων σωματιδίων, τόσο αυξάνεται η πιθανότητα να κατακρημνιστούν προς την επιφάνεια της γης. Είναι επίσης πιθανόν να υποστούν, ξηρά ή υγρή εναπόθεση, λόγω προσκόλλησης σε κάποιον ρυπαντή ή σε υδροσταγονίδια.

Από όλες τις ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων [(αριθμητική συγκέντρωση, συγκέντρωση μάζας ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), διάμετρος (μέγεθος), χημική σύσταση, μορφολογία, βιοδιαθεσιμότητα (διαλυτότητα)], η διάμετρος θεωρείται η πιο σημαντική για τις επιπτώσεις στην υγεία, λόγω του μηχανισμού εναπόθεσης των αιωρούμενων σωματιδίων στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα. Επίσης το μέγεθος των σωματιδίων είναι αυτό που καθορίζει τον χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα. (Πετρακάκης, 2009)

Τα αιωρούμενα σωματίδια κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την διάμετρό τους : PM10 (εκείνα των οποίων η διάμετρος είναι μικρότερη από  $10 \mu\text{m}$ ). Τα PM2.5 και τα PM1.0 είναι εκείνα των οποίων η διάμετρος είναι μικρότερη από 2.5 και  $1.0 \mu\text{m}$ , αντίστοιχα (Εικόνα 1.1).

## Particle Size



Εικόνα 1.1: Παρουσιάζονται τα διάφορα μεγέθη (διάμετροι σε μικρόμετρα- $\mu\text{m}$ ) των αιωρούμενων σωματιδίων: με κόκκινο χρώμα τα ανθρωπογενή και με πράσινο χρώμα τα φυσικής προέλευσης αιωρούμενα σωματίδια (Πηγή: Εταιρεία TSI Inc.). Τα σωματίδια με διάμετρο  $< 4 \mu\text{m}$ , είναι τα εισπνεύσιμα αερολύματα

(Πηγή :<http://www.physics.ntua.gr/~papayannis/Articles%20for%20tamex/PMs-TSI.pdf>)

Ένας διαφορετικός τρόπος καθορισμού της διαμέτρου των αιωρούμενων σωματιδίων είναι από την διάμετρο της προβολής σε δύο διαστάσεις του περιγράμματος των σωματιδίων. Έτσι διακρίνονται οι εξής διάμετροι:

- **Διάμετρος Martin:** καθορίζεται ως το μήκος της γραμμής που χωρίζει το σωματίδιο σε δύο ίσα μέρη.
- **Διάμετρος Feret:** καθορίζεται ως η μέγιστη απόσταση από την μία άκρη του σωματιδίου ως την άλλη.
- **Διάμετρος προβαλλόμενης επιφανείας:** καθορίζεται ως η διάμετρος ενός σφαιρικού σωματιδίου που έχει προβολή ίσου εμβαδού με το εν λόγω σωματίδιο

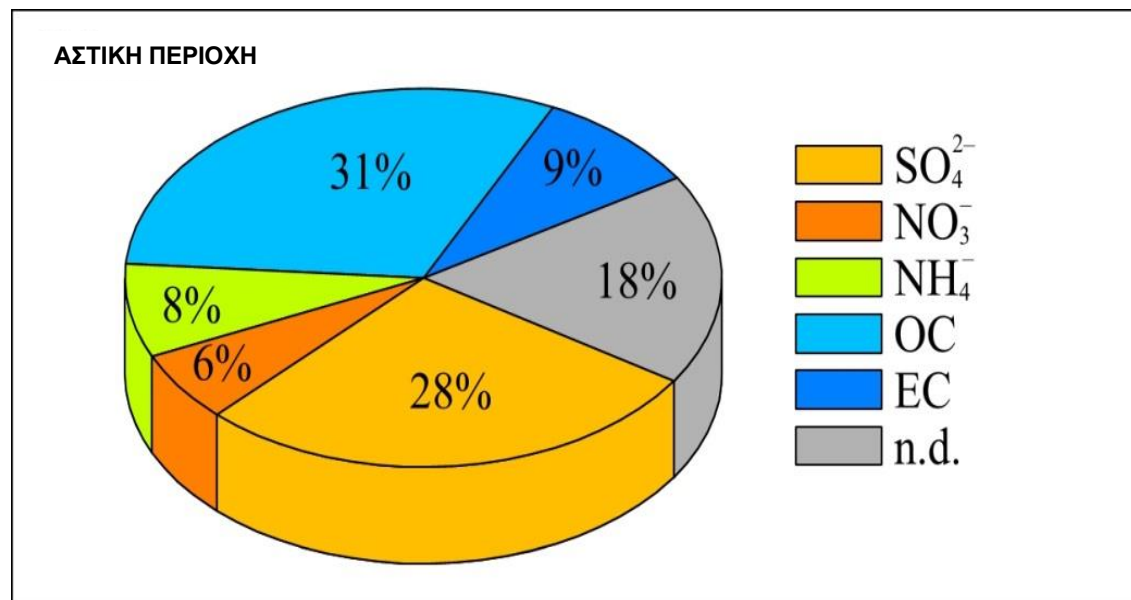
(Πηγή: Μπάης, Φυσική της ατμόσφαιρας, μέρος II, ατμοσφαιρική σύσταση, παγκόσμιοι κύκλοι, χρόνοι ζωής και αιωρούμενα σωματίδια, 2005).

Τα αιωρούμενα σωματίδια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα περιέχουν πολλές χημικές ενώσεις, η προέλευση των οποίων μπορεί να ποικίλει. Έτσι, αποτελούν μια μίξη άλλων χημικών μιγμάτων. Υπάρχουν σε στερεή ή υγρή μορφή και συνήθως περιλαμβάνονται από ανόργανα ιόντα, ενώσεις μετάλλων, στοιχειακό άνθρακα, οργανικές ενώσεις και ανόργανες χημικές ενώσεις από το έδαφος. Τα ατμοσφαιρικά αερολύματα αποτελούνται γενικά από μεταβλητές ποσότητες θειικών, νιτρικών, αμμωνιακών, θαλάσσιων αλάτων, κοραλλιογενών στοιχείων και ανθρακούχων ενώσεων (στοιχειακός και οργανικός άνθρακας) και άλλων οργανικών υλικών.

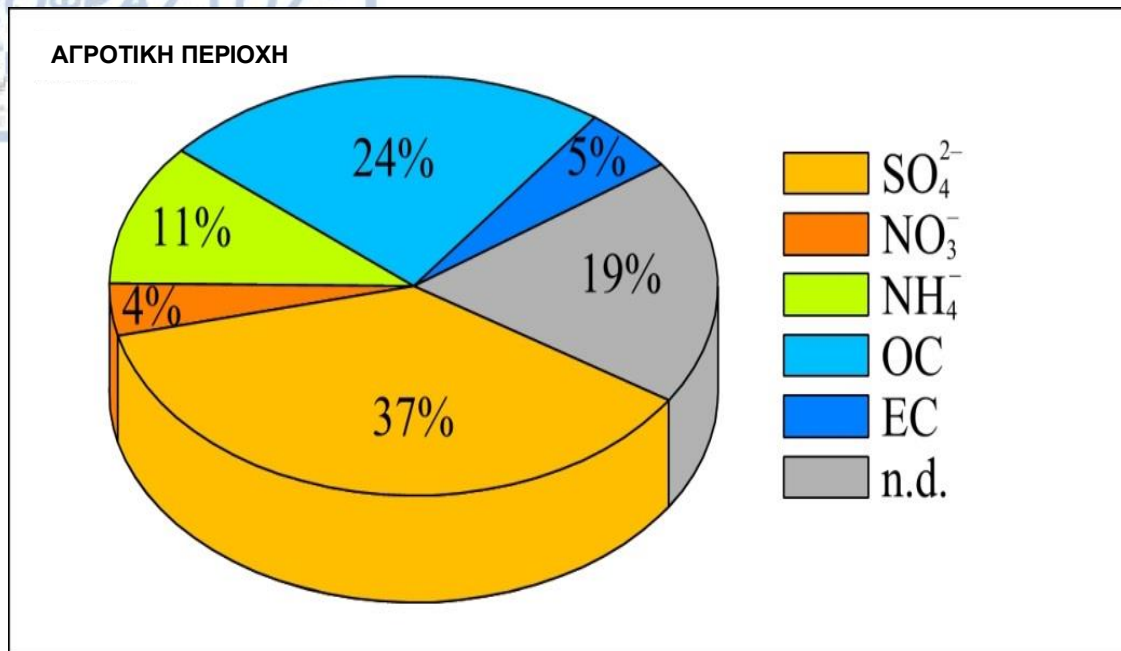
Η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων εξαρτάται άμεσα από την περιοχή στην οποία εκπέμπονται. Υπάρχει διαφορά μεταξύ μιας αστικής και μίας υπαίθριας περιοχής. Σε περιοχές όπου υπάρχουν πολλές ανθρωπογενείς δραστηριότητες παρατηρούνται μεγάλες συγκεντρώσεις σε θειικά και νιτρικά αεροζόλ. Ακόμα και σε περιοχές με ίδια μορφολογικά στοιχεία, όπως αστικές, παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στη χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων που εξαρτώνται από την τοπική ρύπανση η οποία μπορεί να σχετίζεται είτε με την καπνομίχλη είτε με την φωτοχημική αιθαλομίχλη.

Τα παρακάτω σχήματα 1, 2, 3 δείχνουν τη σχετική αφθονία των διαφορετικών χημικών συστατικών των σωματιδίων σε διαφορετικές τοποθεσίες, στην αστική περιοχή, στην αγροτική περιοχή και σε απομακρυσμένη περιοχή, αντίστοιχα.

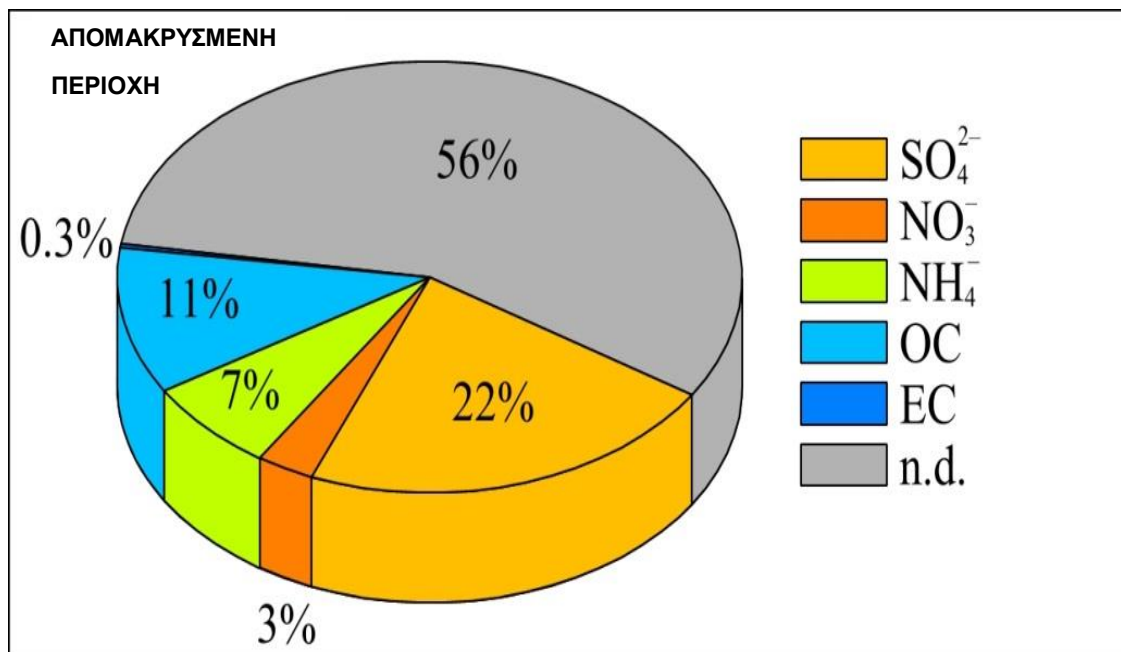
(Πηγή:<http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/AtmosphericChemistry/ch09s02.html>)



**ΣΧΗΜΑ 1 : Μέση χημική σύνθεση σωματιδίων στην αστική περιοχή.** Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο κλάσμα μάζας σε % της συνολικής συγκέντρωσης μάζας σωματιδίων. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>=θειικές ενώσεις, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>=νιτρικές ενώσεις, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>=αμμωνιακές ενώσεις, OC = οργανικός άνθρακας, EC = στοιχειακός άνθρακας, n.d.= δεν εντοπίστηκε. Πηγή δεδομένων: Heitzenberg, 1994.

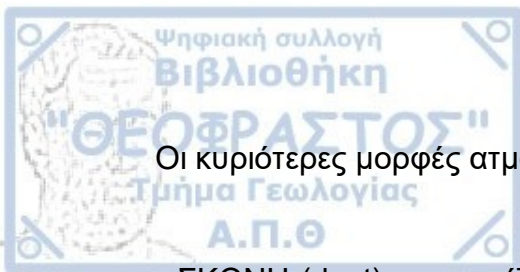


**ΣΧΗΜΑ 2 :** Μέση χημική σύνθεση σωματιδίων στην αγροτική περιοχή. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο κλάσμα μάζας σε % της συνολικής συγκέντρωσης μάζας σωματιδίων. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>=θειικές ενώσεις, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>=νιτρικές ενώσεις, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>=αμμωνιακές ενώσεις, OC = οργανικός άνθρακας, EC = στοιχειακός άνθρακας, n.d.= δεν εντοπίστηκε. Πηγή δεδομένων: Heitzenberg, 1994.



**ΣΧΗΜΑ 3 :** Μέση χημική σύνθεση σωματιδίων στην απομακρυσμένη περιοχή. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο κλάσμα μάζας σε % της συνολικής συγκέντρωσης μάζας σωματιδίων. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>=θειικές ενώσεις, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>=νιτρικές ενώσεις, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>=αμμωνιακές ενώσεις, OC = οργανικός άνθρακας, EC = στοιχειακός άνθρακας, n.d.= δεν εντοπίστηκε. Πηγή δεδομένων: Heitzenberg, 1994.





Οι κυριότερες μορφές ατμοσφαιρικών αιωρημάτων είναι :

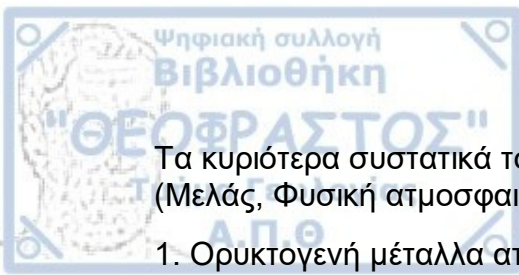
- ΣΚΟΝΗ (dust): σχηματίζεται από διάβρωση ή καταμερισμό στερεών υλικών και είναι στερεά σωματίδια σχετικά μεγάλου μεγέθους ( $D_p > 1 \mu\text{m}$ ).
- ΟΜΙΧΛΗ (fog): ορατά υδροσταγονίδια σε διασπορά στην ατμόσφαιρα συνήθως κοντά στο έδαφος.
- ΚΑΠΝΑ (fume): σωματίδια από συμπύκνωση ατμών, κυρίως από πτητικές ουσίες ή ως αποτέλεσμα (προϊόν) οξειδωτικών αντιδράσεων ( $D < 1 \mu\text{m}$ )
- ΑΧΛΥΣ (haze): μικρά σωματίδια ( $D < 1 \mu\text{m}$ ) μείγμα υδροσταγονιδίων ,ρύπων και σκόνης. Μειώνουν την ορατότητα.
- ΝΕΦΟΣ (smog): συνδυασμός ομίχλης και καπνού.
- ΚΑΠΝΟΣ (smoke): μικρά σωματίδια ( $D < 0.01 \mu\text{m}$ ) που προέρχονται από ατελή καύση κυρίως άνθρακα ή άλλων καυσίμων ,σε ικανή συγκέντρωση ώστε να είναι ορατά
- ΑΙΘΑΛΗ (soot): συσώρευση σωματιδίων άνθρακα που δημιουργούνται από την ατελή καύση ανθρακικών ενώσεων.
- ΕΚΝΕΦΩΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ( sea salt aerosols) : σχηματίζονται όταν ο άνεμος και τα κύματα εξαναγκάζουν φυσαλίδες αέρα να σκάνε στην επιφάνεια της θάλασσας ( $D > 2 \mu\text{m}$ )

### 1.3 PM10: Πηγές εκπομπής και χημική σύσταση

Η χημική σύσταση των αερολυμάτων αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό τους εξαιτίας:

- Της επίδρασης των ρυπαντών στην ανθρώπινη υγεία αναλογικά με τη χημική τους συμπεριφορά και ιδιότητες
- Της αναγνώρισης της πηγής των αερολυμάτων από τη χημική τους σύσταση.





Τα κυριότερα συστατικά του ατμοσφαιρικού αερολύματος είναι τα ακόλουθα :  
(Μελάς, Φυσική ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, 2004)

1. Ορυκτογενή μέταλλα από επαναιώρηση σκόνης.
2. Καθαρός άνθρακας από διαδικασίες καύσης.
3. Οργανικές ενώσεις από προϊόντα ημιτελών καύσεων.
4. Άλατα του αμμωνίου, προϊόντα εξουδετέρωσης όξινων ουσιών στην ατμόσφαιρα από την αμμωνία.
6. Άλατα του ασβεστίου από οικοδομικά υλικά και σκόνη.
7. Θεικά άλατα, προϊόντα αντιδράσεων του διοξειδίου του θείου.
8. Νιτρικά άλατα, προϊόντα αντιδράσεων των οξειδίων του αζώτου.

Ανάλογα με τις πηγές τους τα αιωρούμενα σωματίδια χαρακτηρίζονται σαν πρωτογενή ή δευτερογενή. Τα πρωτογενή είναι αυτά που εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα, ενώ τα δευτερογενή δημιουργούνται από φυσικές ή χημικές διεργασίες στην ατμόσφαιρα (πχ. προσκόλληση σε κάποιον ρυπαντή όπως το SO<sub>2</sub>).

Αντίθετα με την κοινή αντίληψη, το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγόμενων αέριων ρύπων προέρχεται από καθαρά φυσικές πηγές. Παρ' όλα αυτά οι ανθρωπογενείς εκπομπές είναι κυρίως υπεύθυνες για τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα που εμφανίσθηκαν. Αυτό οφείλεται βεβαίως στην ανατροπή της φυσικής ισορροπίας αλλά επίσης και στην μεγάλη πυκνότητα των εκπομπών από ανθρωπογενείς εκπομπές οι οποίες συγκεντρώνονται σε μικρές γεωγραφικές περιοχές (κυρίως αστικές περιοχές και βιομηχανικές ζώνες). (Μελάς, Φυσική ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, 2004)

Οι σημαντικότερες φυσικές πηγές είναι:

1. Τα ηφαίστεια (κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του θείου, υδρόθειο και μεθάνιο).
2. Οι πυρκαγιές δασών (κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα).
3. Οι ωκεανοί και γενικότερα οι θαλάσσιες εκτάσεις (κυρίως χλωριούχο νάτριο και θειικά άλατα).
4. Βιολογική αποσύνθεση των φυτών και των ζώων (κυρίως υδρογονάνθρακες, αμμωνία και υδρόθειο).
5. Η αποσάθρωση του εδάφους (αιωρούμενα σωματίδια).
6. Τα φυτά και τα δέντρα (κυρίως υδρογονάνθρακες).

Η ανθρωπογενής ρύπανση διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες:

1. Κοινωνική ονομάζεται η περιβάλλουσα ή εξωτερική ατμοσφαιρική ρύπανση την οποία υφίσταται το σύνολο του πληθυσμού.
2. Επαγγελματική ονομάζεται η ρύπανση του εργασιακού περιβάλλοντος την οποία υφίστανται συγκεκριμένες ομάδες ή κατηγορίες εργαζομένων.
3. Προσωπική ρύπανση (κάπνισμα, διάφορα σπρέι κτλ)

Οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές είναι:

- Βιομηχανικές πηγές (καύσεις, επεξεργασία).
- Παραγωγή και μεταφορά ενέργειας.
- Μεταφορές (κυκλοφορία οχημάτων).
- Κεντρική θέρμανση.
- Κατασκευές (ανοικοδόμηση/ κατεδαφίσεις )
- Γεωργία ( αγροτική εκμετάλλευση γης)

Η καύση ορυκτών καυσίμων είναι ίσως η σημαντικότερη ανθρωπογενής πηγή αιωρούμενων σωματιδίων απ' την οποία δημιουργείται κατά κύριο λόγο το πρόβλημα της αστικής ρύπανσης.

Για τα σωματίδια PM<sub>10</sub> και PM<sub>2,5</sub> έχουν θεσμοθετηθεί όρια βασισμένα στην υγεία του γενικού πληθυσμού από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, την Ευρωπαϊκή Ένωση και την ΕΡΑ (Υπηρεσία Περιβάλλοντος των ΗΠΑ). Για τους ρύπους PM<sub>10</sub> και PM<sub>2,5</sub> καθιερώθηκαν για πρώτη φορά από την Ε.Ε. ανώτατες οριακές τιμές τα έτη 2000 και 2008 αντίστοιχα. Πριν το έτος 2000, ως ρύπος κριτήριο για τις χώρες μέλη της Ε.Ε. εθεωρούντο τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια TSP. (Πετρακάκης, 2009)

## 1.4 Σωματιδιακή ρύπανση στις πόλεις

Η σωματιδιακή ρύπανση στις πόλεις είναι πολύ πιο έντονη από την επαρχία και τις μη αστικές περιοχές όπου η βιομηχανίες είναι περισσότερες. Σε προηγούμενη παράγραφο αναφέρθηκαν οι ρυπογόνες πηγές σωματιδίων, τόσο οι φυσικές όσο και οι ανθρωπογενείς. Ωστόσο, στις πόλεις είναι πολύ εντονότερες οι ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης, συγκεκριμένα οι βιομηχανικές και οι πηγές μεταφοράς και παραγωγής ενέργειας. Το φαινόμενο της αστικοποίησης έκανε εντονότερη την ρύπανση σε συγκεκριμένες περιοχές του πλανήτη όπως και η ανάπτυξη της βιομηχανίας.

Περισσότερο από το 80% των ανθρώπων που ζουν σε αστικές περιοχές που παρακολουθούν την ατμοσφαιρική ρύπανση εκτίθενται σε επίπεδα ποιότητας του αέρα που υπερβαίνουν τα όρια της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (World Health Organization).

Σύμφωνα με την τελευταία βάση δεδομένων για την αστική ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, το 98% των πόλεων σε χώρες με χαμηλό και μεσαίο εισόδημα, με περισσότερους από 100 000 κατοίκους, δεν πληρούν τις

κατευθυντήριες γραμμές για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Ωστόσο, στις χώρες υψηλού εισοδήματος, το ποσοστό αυτό μειώνεται στο 56%.

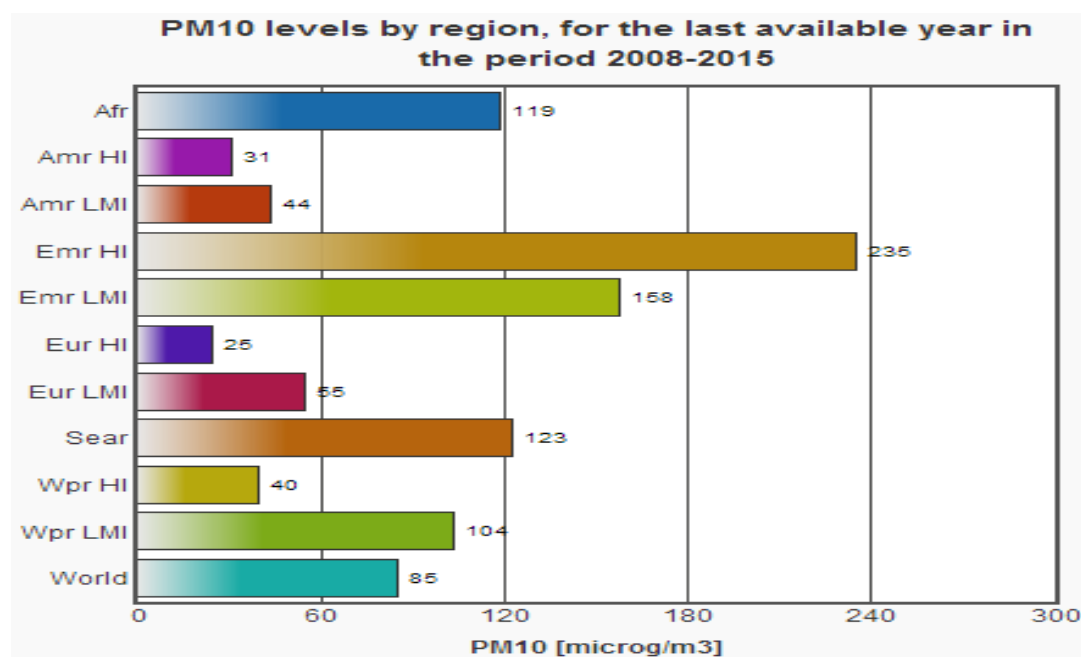
Γενικά, τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις πόλεις ήταν τα χαμηλότερα στις χώρες υψηλού εισοδήματος, με χαμηλότερα επίπεδα στην Ευρώπη, την Αμερική και την περιοχή του Δυτικού Ειρηνικού.

Τα υψηλότερα επίπεδα ατμοσφαιρικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης παρατηρήθηκαν στις χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος στις περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου και της Νοτιοανατολικής Ασίας, με ετήσια μέσα επίπεδα που συχνά υπερβαίνουν τα όρια της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (World Health Organization) 5-10 φορές, ακολουθούμενα από πόλεις χαμηλού εισοδήματος στη περιοχή του Δυτικού Ειρηνικού.

Στις περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου και της Νοτιοανατολικής Ασίας και στις χώρες με χαμηλό εισόδημα στην περιοχή του Δυτικού Ειρηνικού, τα επίπεδα αστικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης αυξήθηκαν κατά περισσότερο από 5% σε περισσότερα από τα δύο τρίτα των πόλεων.

Στην περιοχή της Αφρικής, τα δεδομένα για την ατμοσφαιρική ρύπανση των πόλεων παραμένουν πολύ αραιά, ωστόσο τα διαθέσιμα στοιχεία αποκάλυψαν επίπεδα σωματιδίων (PM) πάνω από το μέσο όρο.

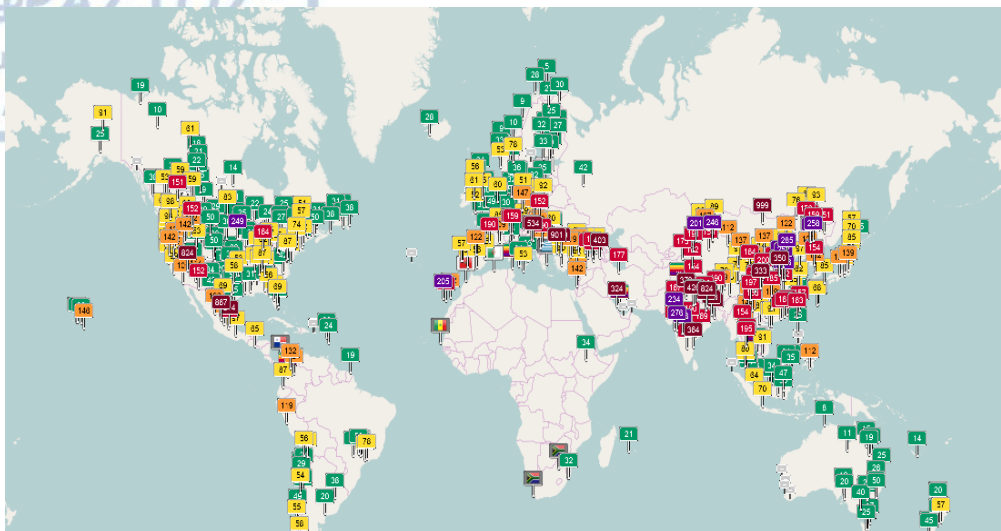
Στις εικόνες (1.2) και (1.3) παρουσιάζεται σε παγκόσμια κλίμακα η ατμοσφαιρική ρύπανση στις μεγαλύτερες αστικές και ταυτόχρονα βιομηχανικές περιοχές του πλανήτη.



**Εικόνα 1.2: Η συγκέντρωση των PM10 ανά περιοχή του κόσμου και για τα έτη 2008-2015.**

Afr=Αφρική, Amr HI= Αμερική υψηλού εισοδήματος, Amr LMI= Αμερική χαμηλού-μεσαίου εισοδήματος, Emr HI= ανατολική Μεσόγειος υψηλού εισοδήματος, Emr LMI= ανατολική Μεσόγειος χαμηλού-μεσαίου εισοδήματος, Eur HI= Ευρώπη υψηλού εισοδήματος, Eur LMI=Ευρώπη χαμηλού-μεσαίου εισοδήματος, Sear=νότιο-ανατολική Ασία, Wpr HI=περιοχή δυτικού Ειρηνικού υψηλού εισοδήματος, Wpr LMI=περιοχή δυτικού Ειρηνικού χαμηλού-μεσαίου εισοδήματος, World=παγκόσμια.

(Πηγή : [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/cities/en/](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/))



Δείκτης Ποιότητας Αέρα	Επίπεδο ατμοσφαιρικής ρύπανσης	Επιπτώσεις στην υγεία
0-50	ΚΑΛΗ	Η ποιότητα του αέρα θεωρείται ικανοποιητική και η ατμοσφαιρική ρύπανση παρουσιάζει μικρό ή καθόλου κίνδυνο.
51-100	ΜΕΤΡΙΑ	Η ποιότητα του αέρα είναι αποδεκτή. Ωστόσο, για ορισμένους ρύπους μπορεί να υπάρχει μέτρια ανησυχία για την υγεία για ένα πολύ μικρό αριθμό ατόμων που είναι ασυνήθιστα ευαίσθητα στην ατμοσφαιρική ρύπανση.
101-151	ΑΝΘΥΓΙΕΙΝΗ ΓΙΑ ΕΥΑΙΣΘΗΤΕΣ ΟΜΑΔΕΣ	Τα μέλη ευαίσθητων ομάδων ενδέχεται να έχουν επιπτώσεις στην υγεία. Το ευρύ κοινό δεν είναι πιθανό να επηρεαστεί.
151-200	ΑΝΘΥΓΙΕΙΝΗ	Ο καθένας μπορεί να αρχίσει να αντιμετωπίζει τις επιπτώσεις στην υγεία του, ενώ τα μέλη ευαίσθητων ομάδων ενδέχεται να έχουν πιο σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία τους.
201-300	ΠΟΛΥ ΑΝΘΥΓΙΕΙΝΗ	Προειδοποιήσεις για την υγεία σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης. Όλος ο πληθυσμός είναι πιθανό να επηρεαστεί.
300+	ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΗ	Προειδοποίηση για την υγεία: Όλοι μπορεί να έχουν πιο σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία.

Εικόνα 1.3: Στις μεγαλύτερες αστικές περιοχές του πλανήτη η βιομηχανία είναι πλήρως αναπτυγμένη, Κεντρική Ευρώπη, Ανατολική Ασία και Δυτική Αμερική, επικρατούν τα υψηλότερα επίπεδα μόλυνσης αέρα.

(Πηγή: <http://aqicn.org/map/world/#@g/5.7345/7.9102/2z> )

## 1.5 Επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον

Η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει μεγάλες επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στον άνθρωπο:

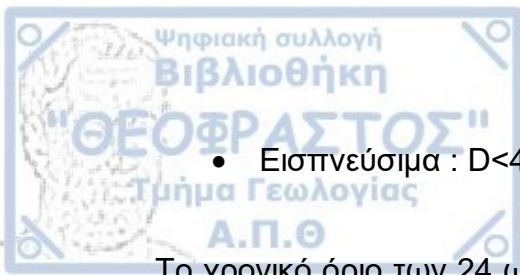
Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να διαβρώσει τα υλικά και να καταστρέψει ιστορικά αλλά και σύγχρονα κτίρια και μνημεία. Κύρια υπεύθυνη για αυτές τις καταστροφές είναι η όξινη βροχή, η οποία οφείλεται στην οξίνιση του νερού της βροχής λόγω διάλυσης στις σταγόνες ενώσεων του θείου και το αζώτου. Επιπλέον μπορεί να ξεράνει τα φυτά ή να περιορίσει την ανάπτυξή τους. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος προέρχεται και πάλι από την όξινη βροχή αλλά σ' αυτή την περίπτωση σημαντική είναι και η συνεισφορά από τους ρύπους που υπάρχουν στον αέρα. Παραδείγματος χάριν, όταν τα επίπεδα του διοξειδίου του θείου ή του όζοντος είναι υψηλά, έχει παρατηρηθεί υπανάπτυξη ή και νέκρωση ορισμένων φυτών. Τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν το κλίμα με άμεσο και έμμεσο τρόπο. Απορροφούν, σκεδάζουν και ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία έχοντας άμεση επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο της ατμόσφαιρας, καθώς και μεταβάλλουν με έμμεσο τρόπο τις οπτικές ιδιότητες και την διάρκεια ζωής των νεφών. Το αποτέλεσμα είναι άλλοτε η αύξηση και άλλοτε η μείωση της θερμοκρασίας, κάτι που εξαρτάται από το μέγεθος και την χημική τους σύσταση. (Σαχινίδης, Ζεμπεκάκης & Κεμετζή)

Όσοι οι σημαντικότερες επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εμφανίζονται στην υγεία των ανθρώπων και ιδιαίτερα σε συγκεκριμένες ευπαθείς ομάδες. Χαρακτηριστικά μπορούν να αναφερθούν τα παρακάτω παραδείγματα:

- α) Το μονοξείδιο του άνθρακα αντιδρά με την αιμογλομπίνη του αίματος και σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να οδηγήσει σε ανωμαλίες της όρασης, κακή εκτίμηση του χώρου και του χρόνου και πιθανόν σε αναισθησία.
- β) Το διοξείδιο του θείου επιδρά στο αναπνευστικό σύστημα, ιδιαίτερα όταν συνδυάζεται με υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων
- γ) Κάποιες ενώσεις υδρογονανθράκων έχουν καρκινογόνο δράση.
- δ) Το όζον είναι εξαιρετικά τοξικό και έκθεση του ατόμου σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει ζάλη εμετούς κ.ά. (Μελάς Δ.)

Τα αιωρούμενα σωματίδια εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό με την αναπνοή. Η διαπερατότητα των σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα είναι συνάρτηση της αεροδυναμικής τους διαμέτρου. Διακρίνονται τρεις κατηγορίες σωματιδίων:

- Αναπνεύσιμα :  $10 < D < 200$   $\mu\text{m}$ , Διαπερνούν τον ρινοφάρυγγα και την τραχεία,.
- Θωρακικά :  $4 < D < 10$   $\mu\text{m}$ , Διαπερνούν τον θώρακα



- Εισπνεύσιμα :  $D < 4 \mu\text{m}$ , Φτάνουν μέχρι τις κυψελίδες των πνευμόνων

Το χρονικό όριο των 24 ωρών είναι ιδιαίτερα σημαντικό, διότι κλινικές μελέτες σε ανθρώπους έχουν δείξει ότι σε μέρες που η ρύπανση ξεπερνάει τα όρια ασφαλείας παρατηρείται κατακόρυφη αύξηση των εμφραγμάτων. Πρόσφατες επιδημιολογικές μελέτες δείχνουν ότι μια πιθανή αύξηση στη συγκέντρωση των εισπνεύσιμων σωματιδίων κατά  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  θα προκαλέσει 1% αύξηση στην πρόωρη παιδική θνησιμότητα (Σαχινίδης, Ζεμπεκάκης, & Κεμετζή).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

# ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ



## 2.1 Συλλογή και ανάλυση αιωρούμενων σωματιδίων

Για να εκτιμηθούν τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι για την συλλογή και ανάλυση των ρύπων.

Στην Ελλάδα υπάρχουν εγκατεστημένοι 36 αυτόματοι σταθμοί σε διάφορα σημεία ενώ τα μελλοντικά σχέδια προβλέπουν επέκταση του δικτύου με εγκατάσταση και λειτουργία νέων σταθμών, την ανανέωση του μετρητικού εξοπλισμού των υπαρχόντων σταθμών και την ανάπτυξη και λειτουργία χημικού εργαστηρίου εντός των σταθμών προκειμένου να εξακριβώνεται η αξιοπιστία των μετρούμενων ρύπων.

Κάθε τέτοιος σταθμός είναι συνδεδεμένος με σύστημα τηλεμετάδοσης με τον κεντρικό σταθμό που βρίσκεται στην έδρα κάθε περιφερειακής αρχής. Όλοι οι σταθμοί είναι εξοπλισμένοι με σύστημα αποθήκευσης δεδομένων, σύστημα τηλεμετάδοσης, σύστημα βαθμονόμησης σε συνδυασμό με σύστημα αραίωσης και παροχής καθαρού αέρα ενώ κάποιοι από τους σταθμούς διαθέτουν και μετεωρολογικό σταθμό. Τέλος όλοι οι σταθμοί του εθνικού δικτύου είναι συνδεδεμένοι με την κεντρική έδρα του συστήματος, όπου συλλέγονται τα δεδομένα από το σύνολο των σταθμών.

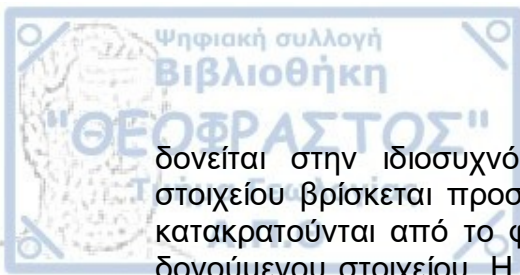
Μια ποικιλία οργάνων και μεθόδων έχει αναπτυχθεί και τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετρηθεί αποτελεσματικά ένας μεγάλος αριθμός ρύπων και χημικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα.

Οι μετρήσεις των ρύπων γίνονται είτε με δειγματοληπτικές μεθόδους και ανάλυση στο εργαστήριο είτε με συνεχείς μετρήσεις επι τόπου αλλά και με τη μέθοδο της τηλεπαρατήρησης (παρατήρηση από μακριά).

Η κύρια μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των 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 σωματίδια β είναι σωματίδια με μικρή μάζα και φέρουν μικρό σχετικά ηλεκτρικό φορτίο.

Οι μετρήσεις στους σταθμούς γίνονται μια φορά τη μέρα. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, τα αιωρούμενα σωματίδια που περιλαμβάνονται στον αέρα, διαχωρίζονται με διήθηση, χρησιμοποιώντας μια μεμβράνη της οποίας η ικανότητα απορρόφησης ακτινοβολίας β έχει μετρηθεί από πριν. Η διαφορά στην ικανότητα μέτρησης της μεμβράνης πριν και μετά τη διήθηση καθιστά δυνατό τον προσδιορισμό της μάζας των σωματιδίων. Η μάζα των σωματιδίων που έχουν κατακρατηθεί, σχετίζεται με τη μέτρηση του όγκου του αέρα που πέρασε από τη μεμβράνη και έτσι επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στο περιβάλλον.

Μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η μέθοδος του δονούμενου στοιχείου. Με τη μέθοδο αυτή μπορούμε να μετρήσουμε τόσο τη συγκέντρωση των PM10 στην ατμόσφαιρα όσο και τη συγκέντρωση των PM2,5. Ο αναλυτής περιλαμβάνει ένα στοιχείο κυλινδρικής διατομής, το οποίο



δονείται στην ιδιοσυχνότητά του. Στο επάνω άνοιγμα του κυλινδρικού στοιχείου βρίσκεται προσαρμοσμένο ένα φίλτρο. Τα αιωρούμενα σωματίδια κατακρατούνται από το φίλτρο και μειώνουν τη συχνότητα ταλάντωσης του δονούμενου στοιχείου. Η μεταβολή της συχνότητας είναι ανάλογη της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων. Τα δεδομένα από το σήμα της ταλάντωσης και από το σήμα του ροόμετρου (μετρά τη ροή του δειγματοληπτικού αέρα) πηγαίνουν σε μια βάση δεδομένων, όπου συσχετίζονται και από τη συσχέτισή τους υπολογίζουμε τη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων.

Για να προσδιορίσουμε την κατανομή του μεγέθους, η πιο κοινή τεχνική είναι η μέθοδος των πολλαπλών κοσκίνων, σύμφωνα με την οποία το κάθε επίπεδο αφαιρεί σωματίδια με σταδιακά μικρότερη διάμετρο. Προκειμένου να γνωρίζουμε τη χημική σύσταση των σωματιδίων χρησιμοποιούμε μεθόδους στοιχειακής ανάλυσης. Για απευθείας στοιχειακή ανάλυση σε δείγματα σωματιδιακού τύπου χρησιμοποιούμε τις μεθόδους: φασματοσκοπία φθορισμού με ακτίνες X και ανάλυση βασισμένη στην ενεργοποίηση του δείγματος με βομβαρδισμό νετρονίων.

Βέβαια για να γίνονται με ακρίβεια οι προηγούμενες ενέργειες, η βαθμονόμηση του εκάστοτε οργάνου είναι μια αναγκαία διαδικασία, σε τακτά χρονικά διαστήματα, εξαιτίας των μεταβολών των σταθερών του οργάνου με την πάροδο του χρόνου ή εξαιτίας της κακής χρησιμοποίησής του.  
( Ε.Σούφλα,2013)

## 2.2 Μεθοδολογία υπολογισμών

Στην παρούσα διατριβή έγινε ανάλυση των υπαρχόντων μετρήσεων για τις συγκεντρώσεις σωματιδίων PM10, όπως αυτές είναι διαθέσιμες από τους σταθμούς μέτρησης της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας.

Για κάθε σταθμό ξεχωριστά έγινε συλλογή και επεξεργασία των τιμών ώστε να ληφθούν τα συγκεντρωτικά διαγράμματα με σκοπό να εξάγουμε συμπεράσματα για τα σωματίδια στην ατμόσφαιρα στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Αρχικά, έγινε μελέτη σε ετήσια βάση για κάθε σταθμό. Με τη βοήθεια προγράμματος απεικόνισης έγινε συγκέντρωση των τιμών κάθε έτους για κάθε σταθμό ώστε να απεικονιστεί γραφικά η συγκέντρωση σωματιδίων σε συνάντηση με τα έτη.

Προκειμένου να γίνει πιο λεπτομερής η μελέτη, η ανάλυση για κάθε σταθμό προχώρησε σε μηνιαίο επίπεδο. Έτσι για κάθε σταθμό έγινε συγκέντρωση των ποσοστών των σωματιδίων σε επίπεδο μηνιαίο, τόσο σε επίπεδο σταθμού όσο και σε συγκεντρωτικό γράφημα για καλύτερα αποτελέσματα.

Τέλος, για καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς των σωματιδίων αναφορικά με τις αυξομειώσεις της θερμοκρασίας και της ανθρώπινης παρέμβασης, η μελέτη προχώρησε σε ωριαίο και εποχικό επίπεδο. Μετά την επεξεργασία των τιμών για κάθε σταθμό ξεχωριστά και για κάθε ώρα του 24ώρου για τα έτη 2001-2014, ύστερα από χρονοβόρα επεξεργασία, τα διαγράμματα που προέκυψαν για κάθε σταθμό αλλά και συγκεντρωτικά, έδωσαν ακόμα καλύτερη εικόνα της ατμόσφαιρας της πόλης σε ωριαία βάση κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επιπλέον, καθοριστική ήταν η συμβολή των διαγραμμάτων του ημερήσιου κύκλου σε σχέση με τις 4 εποχές του χρόνου, ώστε να συμπεριληφθεί και να μελετηθεί ο παράγοντας της θερμοκρασίας και πως αυτός επηρεάζει την ανθρωπογενή δραστηριότητα και κατά συνέπεια την ποιότητα της ατμόσφαιρας της περιοχής της Θεσσαλονίκης.

## 2.3 Η περιοχή της Θεσσαλονίκης και σταθμοί μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων

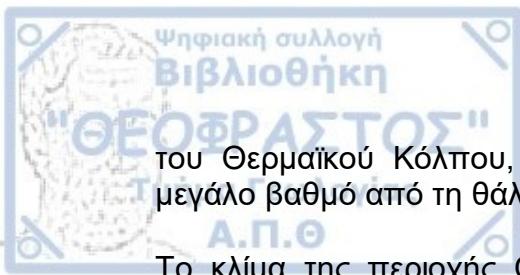
### 2.3.1 Μορφολογία της περιοχής

Ο νομός Θεσσαλονίκης, ο οποίος ανήκει στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, αναπτύσσεται κατά μήκος της βορειοανατολικής ακτής του Θερμαϊκού κόλπου και καλύπτει μία έκταση 650.000 στρεμμάτων. Στα ανατολικά της πόλης υπάρχει η οροσειρά του Χορτιάτη με μέγιστο ύψος τα 1200μ. Προέκταση του Χορτιάτη, στα βορειοανατολικά της πόλης, είναι το όρος Προφήτης Ηλίας (ύψος 738μ) στις κοινότητες Ασβεστοχωρίου και Εξοχής. Η παρουσία αυτού του ενιαίου ορεινού όγκου, σε συνδυασμό με τη κλειστή, ρηχή και θερμή θάλασσα του Θερμαϊκού κόλπου, οδηγεί στην εμφάνιση υψηλών επιπέδων υγρασίας, κύριο χαρακτηριστικό του μικροκλίματος της πόλης. Βορειοδυτικά του πολεοδομικού συγκροτήματος, στις εκβολές των ποταμών Γαλλικού – Αξιού - Αλιάκμονα εκτείνεται πεδιάδα, στην οποία εδρεύει ένα μεγάλο βιομηχανικό σύμπλεγμα.

Το έδαφος του Νομού Θεσσαλονίκης είναι κατά τα 2/3 πεδινό. Η κατανομή του εδάφους ανά κατηγορία είναι η εξής: 62% πεδινό, 20% ημιορεινό και 18% ορεινό.. Εντελώς πεδινό είναι το δυτικό τμήμα του νομού, όπου απλώνεται η προσχωσιγενής κοιλάδα της Θεσσαλονίκης. Η πόλη χαρακτηρίζεται από πυκνή δόμηση, με υψηλά κτήρια, στενούς δρόμους και έλλειψη ακάλυπτων χώρων πρασίνου και πάρκων.

### 2.3.2 Κλιματολογία και Μετεωρολογία της περιοχής

Η περιοχή της Θεσσαλονίκης βρίσκεται στη Βόρεια Ελλάδα, στην Κεντρική Μακεδονία. Η πόλη της Θεσσαλονίκης αναπτύσσεται κατά μήκος της ακτής



του Θερμαϊκού Κόλπου, με αποτέλεσμα το κλίμα της να επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τη θάλασσα.

Το κλίμα της περιοχής Θεσσαλονίκης μπορεί να θεωρηθεί μεσογειακό, με φανερή την ηπειρωτική επίδραση κατά τις διάφορες εποχές: η θερμοκρασία παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές της τον Ιούλιο και τις μικρότερες τον Ιανουάριο, το ετήσιο θερμομετρικό εύρος υπερβαίνει τους 20 °C, ενώ κατά την ψυχρή εποχή εισβάλλουν απότομα πολύ ψυχρές αέριες μάζες και συχνά παγώνουν ποταμοί και λίμνες, ακόμα και ο Θερμαϊκός κοντά στις ακτές. Η πιο μεγάλη θερμοκρασία που έχει καταγραφεί στο αεροδρόμιο Μακεδονία ήταν στις 25 Ιουλίου 2007 και ήταν 47.2 βαθμούς Κελσίου, ενώ η πιο χαμηλή θερμοκρασία, στον ίδιο σταθμό ήταν -14 βαθμούς Κελσίου στις 26 Ιανουαρίου 1963.

Χαρακτηριστικές επίσης είναι οι ήπιες και ηλιόλουστες ημέρες, που παρατηρούνται περίπου στα μέσα του χειμώνα, ο σχετικά μεγάλος αριθμός θερινών και τροπικών ημερών και η ελάττωση των βροχών το καλοκαίρι. Η μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα κυμαίνεται γύρω στους 16 °C, η χαμηλότερη μέση θερμοκρασία (Ιανουάριος) γύρω στους 5,5 °C και η υψηλότερη (Ιούλιος) γύρω στους 26-26,50 °C. Η απόλυτα μέγιστη έχει φτάσει τους 42 °C και η απολύτως ελάχιστη τους -10 °C.

Στο διάστημα του έτους περίπου 140 ημέρες έχουν μέγιστη θερμοκρασία πάνω από τους 25 °C και περίπου 70 πάνω από τους 30 °C, ενώ 107 είναι αίθριες και 73 νεφοσκεπείς. Το ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται γύρω στα 500 χιλιοστά. Το χιόνι δεν είναι σπάνιο φαινόμενο.

Ως προς τους ανέμους, είναι διάφοροι κατά εποχές: τον χειμώνα επικρατούν οι βόρειοι, που έρχονται από την κοιλάδα του Αξιού (Βαρδάρης), και λιγότερο οι δυτικοί, την άνοιξη γίνονται συχνότεροι οι νοτιοδυτικοί (θαλάσσιες αύρες), το καλοκαίρι δεσπάζουν οι βόρειοι και οι νοτιοδυτικοί, που οφείλονται οι πρώτοι στο ρεύμα των ετησίων και οι δεύτεροι στη θαλάσσια αύρα, ενώ τον Σεπτέμβριο ελαττώνονται οι νοτιοδυτικοί και από τον Νοέμβριο κυριαρχούν πάλι οι βόρειοι και οι δυτικοί. Τα ποσοστά άπνοιας είναι σχετικά υψηλά καθ' όλη τη διάρκεια του έτους με αποτέλεσμα τον κακό εξαερισμό της πόλης. Καιρικά φαινόμενα όπως η θαλάσσια αύρα και οι τοπικές ομίχλες χαρακτηρίζουν την περιοχή και οφείλονται στην άμεση επίδραση της θάλασσας στο μικροκλίμα της πόλης.

Αναλυτικότερα το κλίμα στα ορεινά και βόρεια τείνει προς το ηπειρωτικό, μεσοευρωπαϊκού χαρακτήρα, με ψυχρό και τραχύ χειμώνα, ενώ στα νότια και πεδινά είναι εύκρατο. Οι σημαντικότεροι συντελεστές που επιδρούν στη διαμόρφωση του κλίματός της είναι: η θερμοκρασία, οι βροχοπτώσεις, η ατμοσφαιρική πίεση, οι άνεμοι και η υγρασία. Οι ορεινοί όγκοι με απότομη μεταβολή υψομέτρου, επίσης επιδρούν στην κατανομή των μετεωρολογικών και κλιματικών στοιχείων της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας. Τα ορεινά λεκανοπέδια, αποτελούν μεγάλα παγερά κοιλάματα, γι' αυτό παρουσιάζουν ηπειρωτικές κλιματικές συνθήκες, ενώ η παρουσία των πολλών λεκανών απορροής και των κοιλάδων που σχηματίζονται μεταξύ των ορεινών όγκων και των οροσειρών, δημιουργεί ποικιλία τοπικών κλιμάτων.

(Πηγή: Χ. Σ. Σαχσαμάνογλου - Α. Μπλούτσος, 1998.)

### 2.3.3 Σταθμοί μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων

Στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης λειτουργούν τρία δίκτυα παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα:

- ✓ Το δίκτυο που λειτουργεί υπό την ευθύνη και εποπτεία της Διεύθυνσης Περιβάλλοντος και χωροταξίας της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας, ως μέρος του επίσημου εθνικού δικτύου του ΥΠΕΧΩΔΕ.
- ✓ Το δίκτυο σταθμών που λειτουργεί υπό την ευθύνη και εποπτεία του τμήματος περιβάλλοντος, του Δήμου Θεσσαλονίκης.
- ✓ Το δίκτυο σταθμών που λειτουργεί ο Δήμος Εχεδώρου, τα στοιχεία του οποίου δημοσιοποιούνται μόνο μέσω ετήσιων εκθέσεων.

Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα σωματιδιακής ρύπανσης της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας .

Στο πίνακα 1 φαίνονται οι 6 σταθμοί μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας:

ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΜΟΥ
Πλατεία Αγίας Σοφίας	22° 56' 43''.04	40° 38' 01''.58	27	Αστικός-Κυκλοφορίας
Ελευθέριο-Κορδελιό	22° 53' 36''.38	40° 40' 24''.77	30	Αστικός-Βιομηχανικός
Σίνδος	22° 48' 08''.52	40° 39' 28''.23	14	Αστικός-Βιομηχανικός
Πανόραμα	23° 01' 54''.05	40° 35' 20''.15	363	Περιστατικός-Υποβάθρου
Καλαμαριά	22° 57' 33''.49	40° 34' 44''.10	60	Περιστατικός-Υποβάθρου
Νεοχωρούδα	22° 52' 34''.43	40° 44' 23''.43	229	Περιστατικός-Υποβάθρου

Πίνακας 1 : Σταθμοί Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας



Η μέθοδος μέτρησης των σωματιδίων και στους έξι σταθμούς είναι η μέθοδος με απορρόφηση β – ακτινοβολίας. Οι παραπάνω σταθμοί λειτουργούν όλο το 24ωρο και καταγράφουν μία τιμή κάθε λεπτό. Έπειτα, μέσω ενός επεξεργαστή υπολογίζονται οι μέσες ωριαίες τιμές, οι οποίες μέσω μόντεμ μεταβιβάζονται στον κεντρικό υπολογιστή της Υπηρεσίας.

Στις παρακάτω δορυφορικές εικόνες (2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7) που ακολουθούν παρουσιάζονται οι παραπάνω 6 σταθμοί της περιφέρειας κεντρικής Μακεδονίας. (Πηγή: <http://www.airthess.gr/Stations> )



Εικόνα 2.1 : Οι σταθμοί της περιφέρειας κεντρικής Μακεδονίας (Πηγή: Π.Κ.Μ., 2013)



Εικόνα 2.2 : Σταθμός Ελευθέριο-Κορδελιό



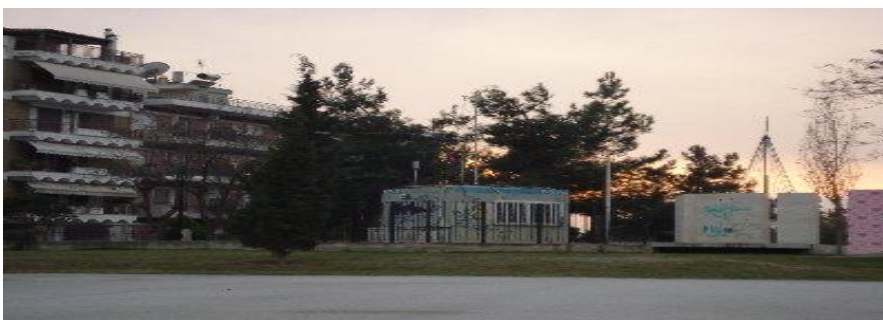
Εικόνα 2.3 : Σταθμός πλατείας Αγίας Σοφίας



Εικόνα 2.4 : Σταθμός Σίνδου



Εικόνα 2.5 : Σταθμός Πανοράματος



Εικόνα 2.6 : Σταθμός Καλαμαριάς





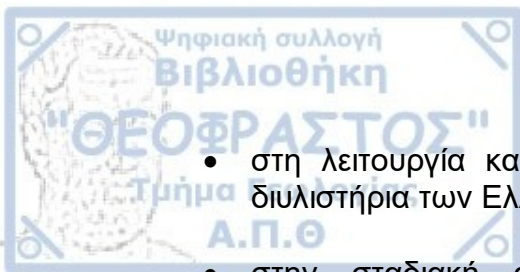
Εικόνα 2.7 : Σταθμός Νεοχωρούδας

## 2.4 Σωματιδιακή ρύπανση στην Θεσσαλονίκη

Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν σήμερα το σημαντικότερο πρόβλημα για το ατμοσφαιρικό περιβάλλον της Θεσσαλονίκης. Η παρούσα κατάσταση έχει δημιουργηθεί κυρίως από την βιομηχανική δραστηριότητα που είναι αρκετά αναπτυγμένη στην περιοχή, την κυκλοφορία των οχημάτων και την λειτουργία καυστήρων κεντρικής θέρμανσης. Επίσης, πολλά προβλήματα ρύπανσης εμφανίζονται λόγω του πολεοδομικού σχεδιασμού της πόλης. Οι στενοί δρόμοι, τα ψηλά κτήρια και η πυκνοκατοικημένη δόμηση, δημιουργούν δυσμενείς συνθήκες για την διασπορά και απομάκρυνση των αέριων ρύπων. Ο μεγάλος όγκος κτηρίων κατά μήκος της παραλιακής οδού εμποδίζει την θαλάσσια αύρα να εισχωρήσει στα ενδότερα της πόλης και να απομακρύνει την αέρια ρύπανση. Τέλος η λανθασμένη επιλογή της θέσης της βιομηχανικής περιοχής στα δυτικά της πόλης, επιβαρύνει σημαντικά τον αέρα την Θεσσαλονίκη. Αυτό συμβαίνει γιατί ο άνεμος ακολουθεί την περιστροφή της Γης και πνέει συνήθως από τα δυτικά, όταν δεν εμφανίζονται άλλα συνοπτικά συστήματα στην περιοχή.

Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια εμφανίζεται πτωτική τάση στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε διάφορες παραμέτρους όπως :

- στην τεχνολογική αναβάθμιση του στόλου των οχημάτων (Ι.Χ.-Δ.Χ). Σήμερα το 60% των οχημάτων είναι νέας καταλυτικής τεχνολογίας
- στη βελτίωση της ποιότητας των καυσίμων
- στην εφαρμογή του μέτρου της κάρτας ελέγχου καυσαερίων (ΚΕΚ) και θέσπιση τεχνικού ελέγχου για όλα τα οχήματα (ΚΤΕΟ)



- στη λειτουργία και επέκταση των εγκαταστάσεων αποθείωσης στα διυλιστήρια των Ελληνικών πετρελαίων (ΕΛΠΕ)
- στην σταδιακή αντικατάσταση των καυστήρων πετρελαίου με καυστήρες φυσικού αερίου
- στη συρρίκνωση της βιομηχανικής δραστηριότητας στην περιοχή.

Ωστόσο, αν η περίοδος που λαμβάνεται υπόψη περιοριστεί στην πενταετία 2004-2008, τότε παρατηρείται αύξηση συγκεντρώσεων μικροσωματιδίων στο κέντρο της πόλης κυρίως λόγω των έργων του μετρό (Πετρακάκης Μ. , 2009).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

# ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ



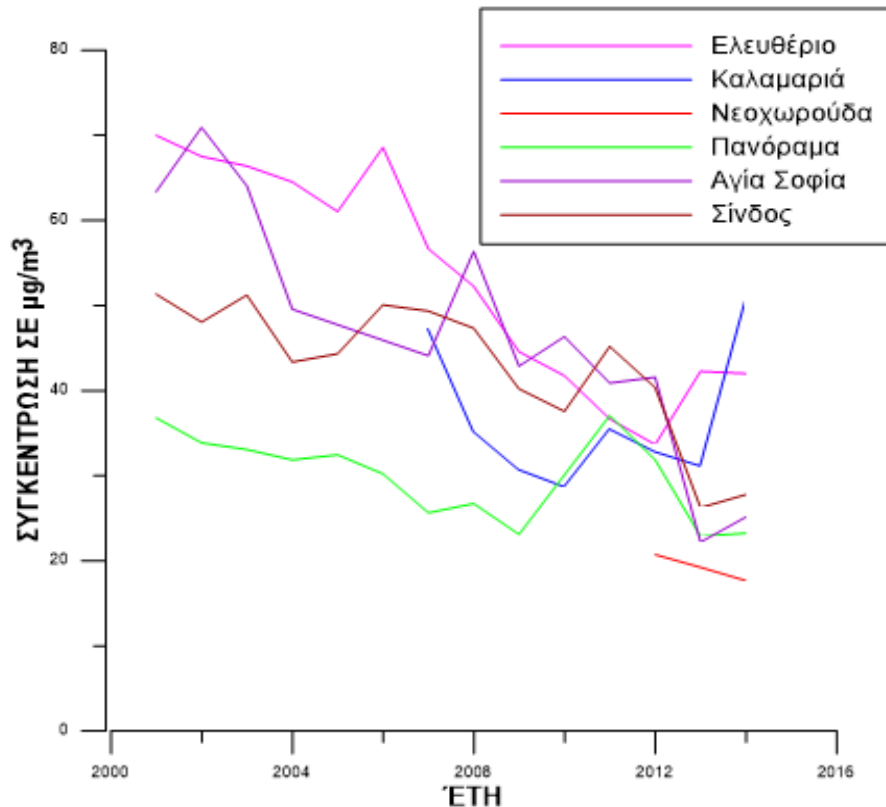
### **3.1 Γενικά:**

Με τη μελέτη της διακύμανσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και συγκεκριμένα των σωματιδίων PM10, μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα όπως τα επίπεδα της ρύπανσης στο παρελθόν, τόσο σε ετήσια βάση, σε μηνιαία αλλά και σε ημερήσια. Επιπλέον μπορεί να παρατηρηθεί αν είχαν αποτέλεσμα τυχόν μέτρα αντιμετώπισης που ελήφθησαν σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Γι αυτό το σκοπό γίνεται μια εκτεταμένη μελέτη για τα έτη 2001 έως 2014.

### **3.2 Διαχρονική μεταβολή μέσω ετήσιων συγκεντρώσεων PM10**

Η μελέτη της μεταβολής της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM10 μελετάται αρχικά σε ετήσια βάση για τα έτη 2001 έως 2014.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί γράφημα που δείχνει τις μεταβολές στους σταθμούς Ελευθέριου-Κορδελιού, Καλαμαριάς, Νεοχωρούδας, Πανοράματος, πλ. Αγίας Σοφίας και Σίνδου (εικόνα 3.1) .



Εικόνα 3.1: Συγκέντρωση σωματιδίων PM10 για τα έτη 2001-2014.

Την 13ετη περίοδο 2001-2014 παρατηρείται μια πτωτική τάση της συγκέντρωσης σωματιδίων PM10.

Σημαντική μείωση των εκπεμπόμενων αερίων καταγράφηκε στον σταθμό του Ελευθέριου κατά το διάστημα 2006-2012, ωστόσο μια μικρή αύξηση παρατηρήθηκε αμέσως μετά. Ο σταθμός αυτός εμφανίζει τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις διότι βρίσκεται σε βιομηχανική περιοχή και διπλά στη περιφερειακή οδό.

Παρόμοια συμπεριφορά παρουσιάζεται στις συγκεντρώσεις των σταθμών Αγίας Σοφίας και Σίνδου όπου η πτώση είναι εμφανής με συνεχείς αυξομειώσεις.

Ο σταθμός στο Πανόραμα καταγράφει μια απότομη αύξηση το 2011, παρά την μείωση που κατέγραφε, ενώ το ίδιο εμφανίζεται και στον σταθμό της Καλαμαριάς. Για τη Νεοχωρούδα πληροφορίες έχουμε μόνο για τα έτη 2011-2014 και δεν μπορούμε να βγάλουμε ασφαλές συμπέρασμα.

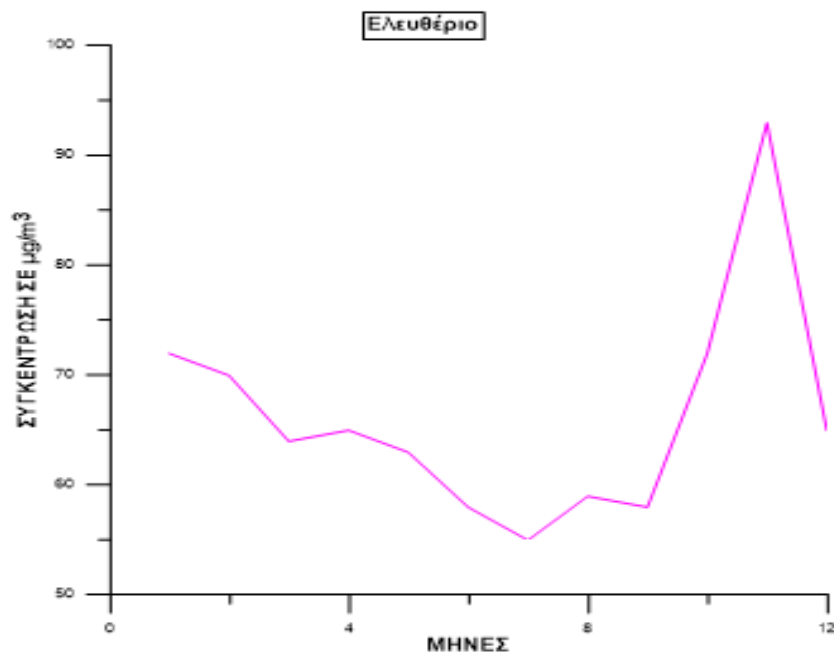
Γενικά, σε όλους τους σταθμούς παρατηρείται μείωση των συγκεντρώσεων των σωματιδίων κατά τα έτη 2001-2014, ενώ κατά το 2010 και το 2013-2014 μια αύξηση έγινε αισθητή.

Ένας από τους λόγους που εμφανίζονται υψηλές συγκεντρώσεις στους περισσότερους σταθμούς είναι πιθανότατα και η μειωμένη ικανότητα των

σωματιδιακών ρύπων να μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις με τη βοήθεια του ανέμου.

### 3.3 Μέση μηνιαία μεταβολή συγκεντρώσεων PM10

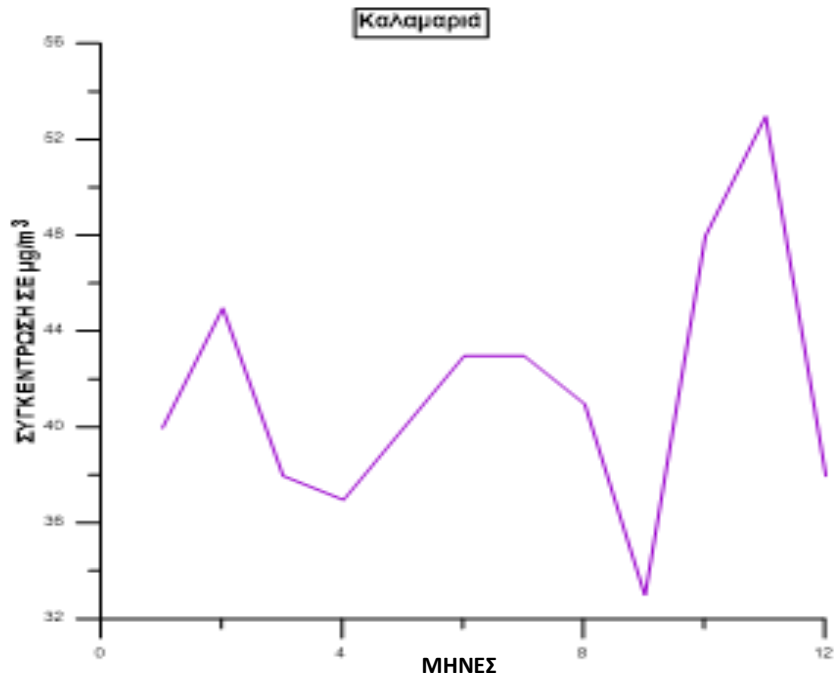
Στη συνέχεια ακολουθεί μηνιαία ανάλυση της συγκέντρωσης σωματιδίων PM10 για κάθε σταθμό για τη χρονική περίοδο 2001-2014 για τους σταθμούς Ελευθέριου-Κορδελιού, Καλαμαριάς, Νεοχωρούδας, Πανοράματος, πλ. Αγίας Σοφίας και Σίνδου (εικόνες 3.2-3.7).



Εικόνα 3.2: Συγκέντρωση σωματιδίων PM10 στο σταθμό Ελευθέριου ανά μήνα για τα έτη 2001-2014

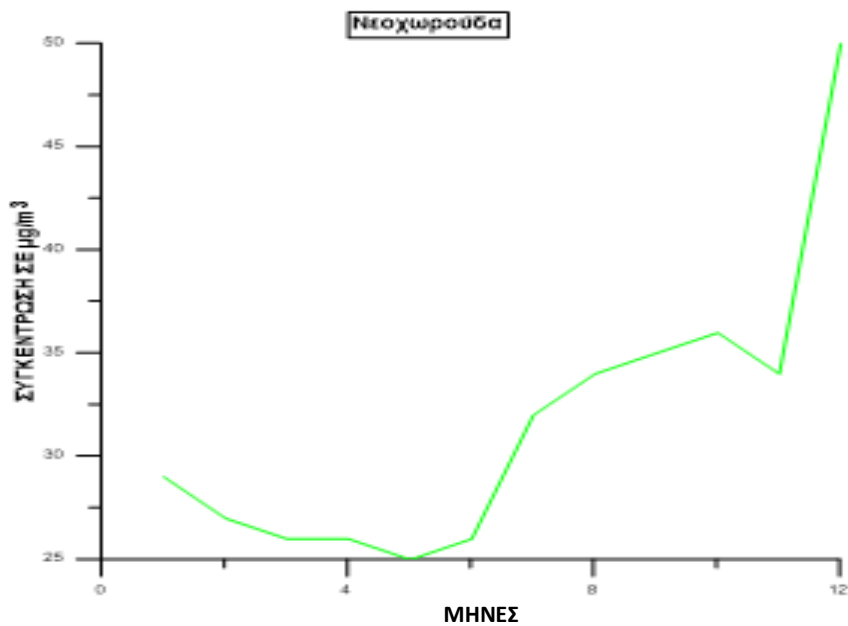
Μειωμένη συγκέντρωση παρατηρείται κατά τους μήνες Ιούνιο-Σεπτέμβριο, ενώ τον Νοέμβριο η συγκέντρωση εκτοξεύεται στα 95 μg/m<sup>3</sup>.





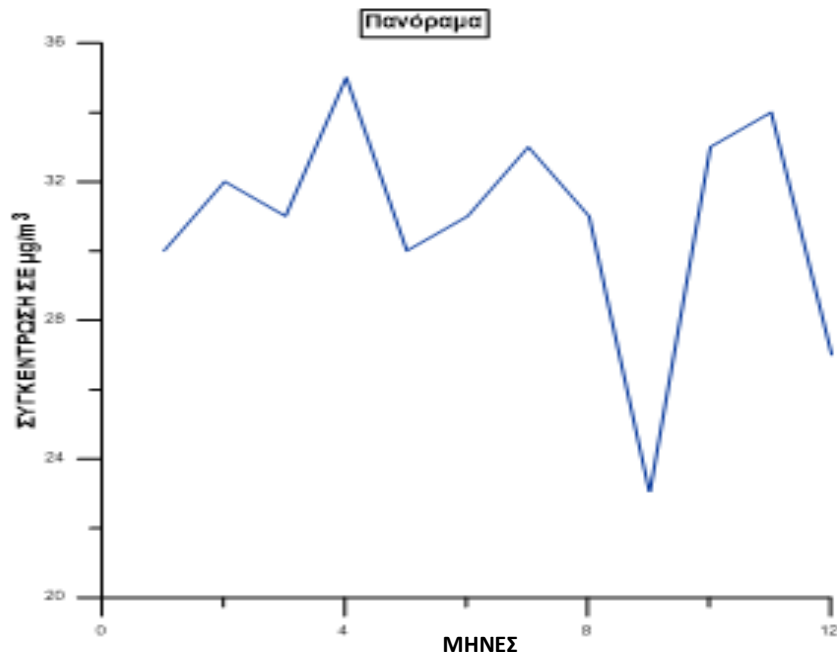
Εικόνα 3.3: Συγκέντρωση σωματιδίων PM10 στο σταθμό Καλαμαριάς ανά μήνα για τα έτη 2001-2014

Χαρακτηριστική είναι η απότομη πτώση της συγκέντρωσης τον Σεπτέμβριο, την οποία ακολουθεί απότομη άνοδος τον Νοέμβριο, όπως και στο σταθμό του Ελευθέρου.



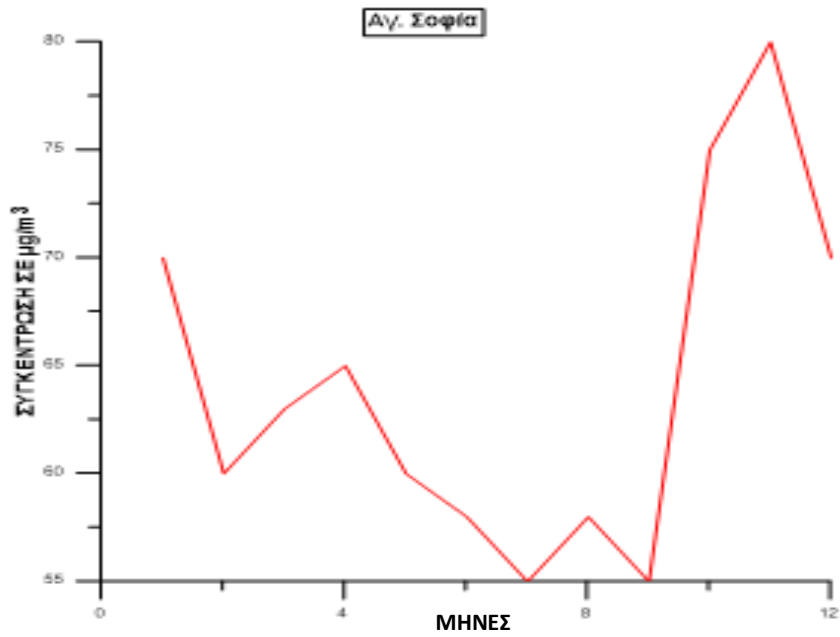
Εικόνα 3.4: Συγκέντρωση σωματιδίων PM10 στο σταθμό Νεοχωρούδας ανά μήνα για τα έτη 2001-2014

Από τον Ιούνιο παρατηρείται σταδιακή άνοδος της συγκέντρωσης με τη μέγιστη να καταγράφεται κατά τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο.



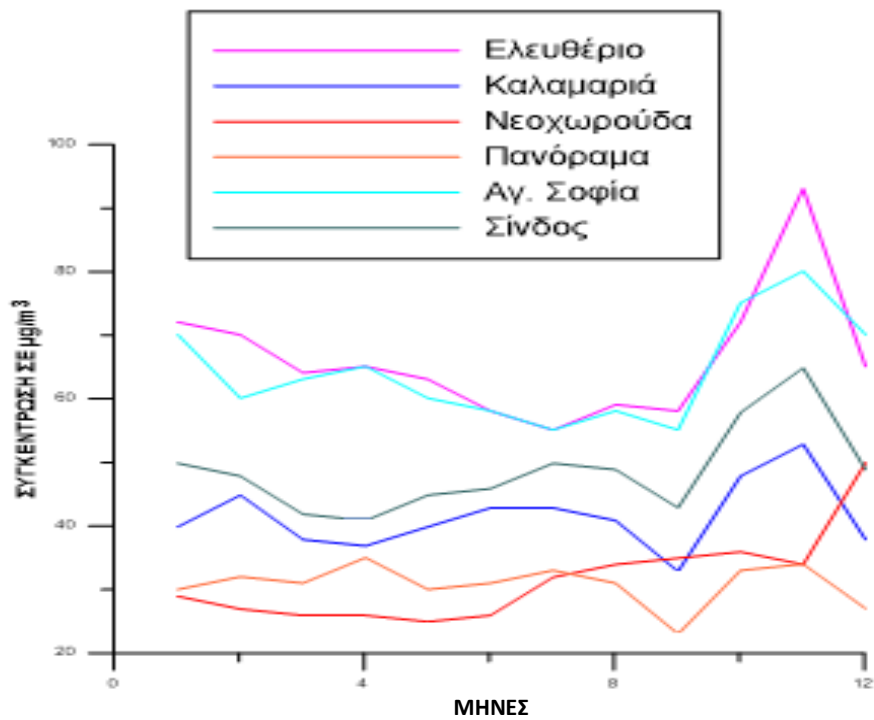
Εικόνα 3.5: Συγκέντρωση σωματιδίων PM10 στο σταθμό Πανοράματος ανά μήνα για τα έτη 2001-2014

Η συγκέντρωση των σωματιδίων κινείται σε σταθερά επίπεδα καθ'όλη τη διάρκεια του έτους με κάποιες μικρές αυξομειώσεις, ωστόσο τον Σεπτέμβριο καταγράφεται μια εντυπωσιακή μείωση και απότομη άνοδος τον Οκτώβρη και Νοέμβρη.



Εικόνα 3.6: Συγκέντρωση σωματιδίων PM10 στο σταθμό Αγ. Σοφίας ανά μήνα για τα έτη 2001-2014

Εντυπωσιακή αύξηση της συγκέντρωσης καταγράφεται τον Οκτώβριο και Νοέμβριο παρόλο που τους προηγούμενους μήνες υπήρχε μια σταδιακή μείωση.



Εικόνα 3.7: Συγκέντρωση σωματιδίων PM10 σε όλους τους σταθμούς συγκεντρωτικά ανά μήνα για τα έτη 2001-2014

Όλοι οι σταθμοί, εκτός από τον σταθμό του Πανοράματος, εμφανίζουν αυξητική τάση των συγκεντρώσεών τους κατά τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες του έτους. Η αυξητική αυτή τάση κορυφώνεται τον Νοέμβριο, όπου σημειώνεται η μέγιστη συγκέντρωση του έτους.

Το γεγονός αυτό δικαιολογείται λόγω της κίνησης των αυτοκινήτων και της λειτουργίας των κεντρικών θερμάνσεων και από το ότι τον Νοέμβριο η θαλάσσια αύρα έχει αποδυναμωθεί και οι χειμερινοί άνεμοι των βόρειων διευθύνσεων δεν έχουν ακόμα ενισχυθεί.

Όλοι οι σταθμοί εκτός από αυτούς του Πανοράματος παρουσιάζουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις την ψυχρή περίοδο του έτους. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη συνδυασμένη δράση της έντονης κυκλοφοριακής κίνησης, με τη λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης και τη συμβολή δυσμενών τοπικών μετεωρολογικών συνθηκών, όπως η άπνοια και οι θερμοκρασιακές αναστροφές, που ευνοούν τη συσσώρευση ρύπων.

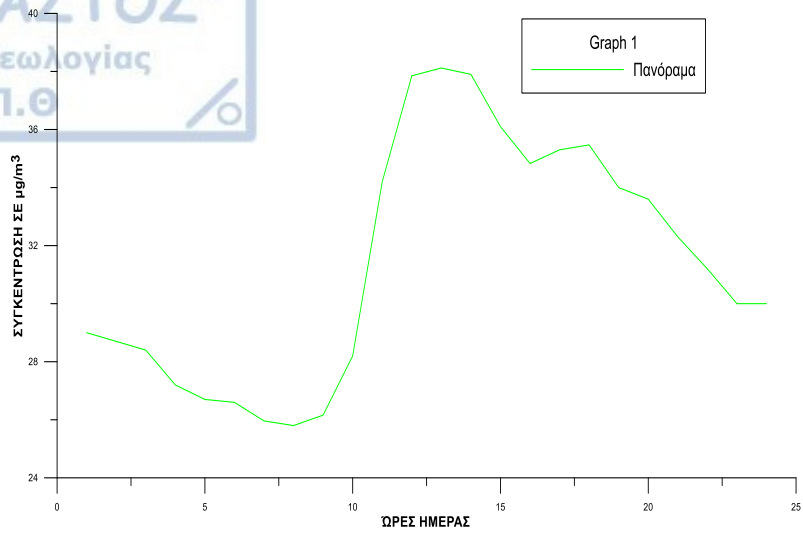
Σε όλους τους σταθμούς η ελάχιστη μέση μηνιαία συγκέντρωση παρατηρείται την καλοκαιρινή περίοδο (Ιούνιο-Ιούλιο) όπου δεν λειτουργούν οι κεντρικές θερμάνσεις. Στο τέλος της θερινής περιόδου και μέχρι τον Νοέμβριο οι συγκεντρώσεις αυξάνουν, με τον Νοέμβρη να παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές.

Οι σταθμοί Ελευθέριου και Αγ. Σοφίας παρουσιάζουν μέγιστες συγκεντρώσεις περίπου 80-90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  τον Νοέμβριο, γεγονός ανησυχητικό καθώς είναι μεγάλο το ποσοστό για κατοικημένες περιοχές.

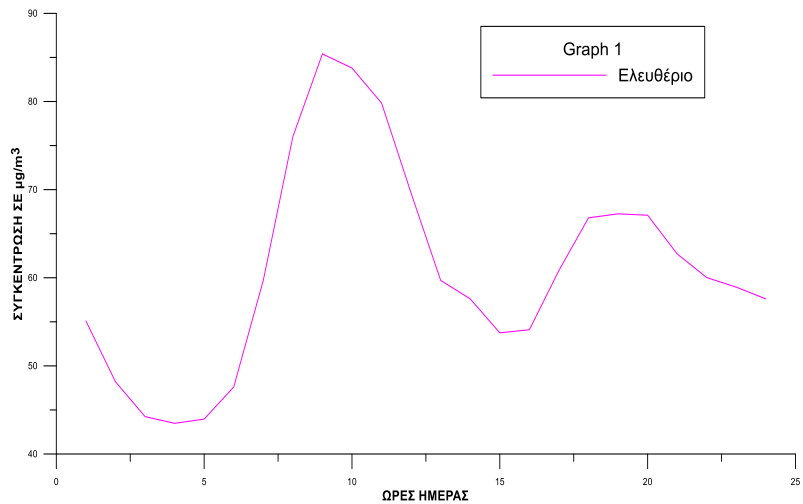
### **3.4 Μέση ωριαία μεταβολή και ημερήσιοι κύκλοι ανά εποχή συγκεντρώσεων PM<sub>10</sub>**

Η συγκέντρωση των σωματιδίων μεταβάλλεται και κατά τη διάρκεια της ημέρας καθώς οι παράγοντες που την επηρεάζουν μεταβάλλονται επίσης σε ωριαία συχνότητα.

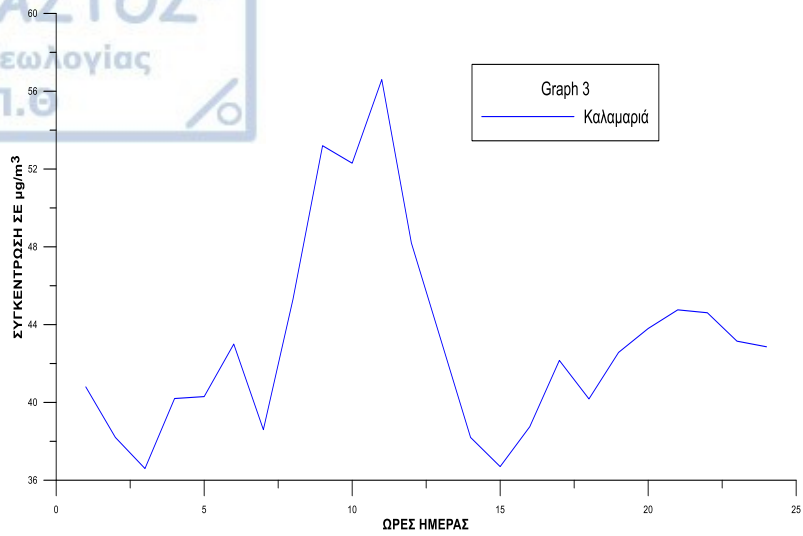
Στα επόμενα γραφήματα φαίνεται ο ημερήσιος κύκλος μεταβολής συγκέντρωσης των σωματιδίων PM<sub>10</sub> τόσο για κάθε σταθμό όσο και συγκεντρωτικά για τα έτη 2001-2014 (εικόνες 3.8-3.14).



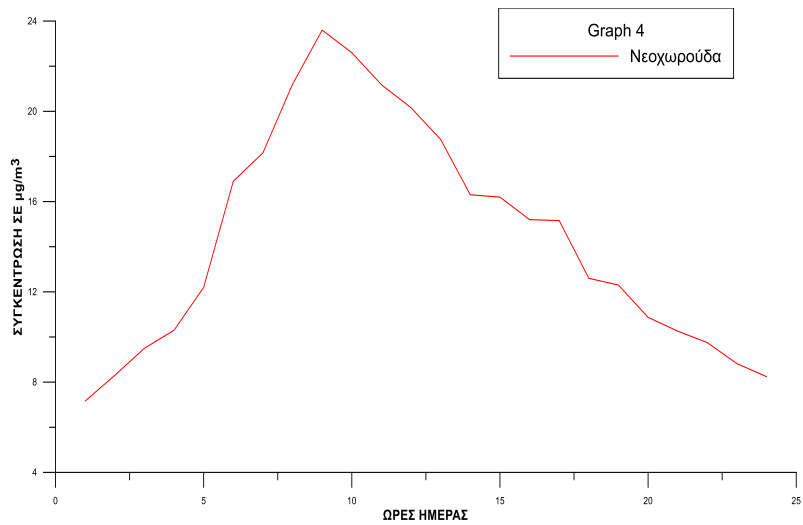
Εικόνα 3.8: Μέση ωριαία συγκέντρωση σωματιδίων PM10 Πανοράματος για τα έτη 2001-2014



Εικόνα 3.9: Μέση ωριαία συγκέντρωση σωματιδίων PM10 για το Ελευθέριο για τα έτη 2001-2014

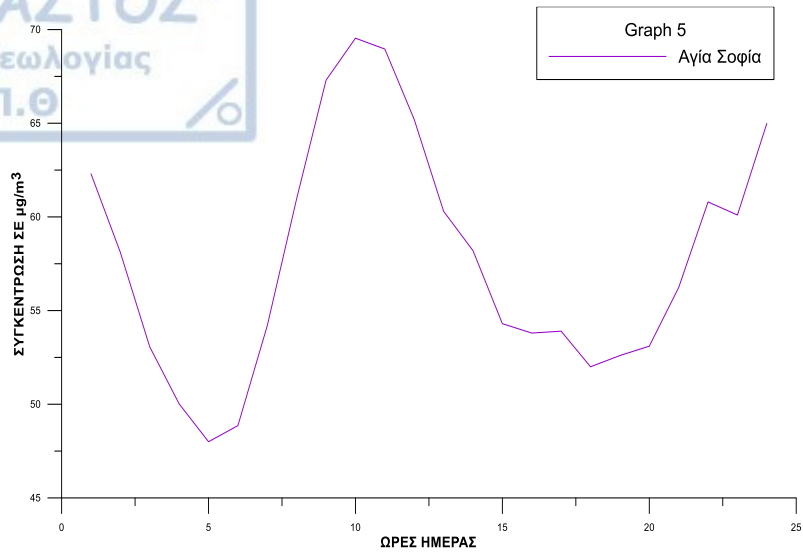


Εικόνα 3.10: Μέση ωριαία συγκέντρωση σωματιδίων PM10 Καλαμαριάς για τα έτη 2001-2014

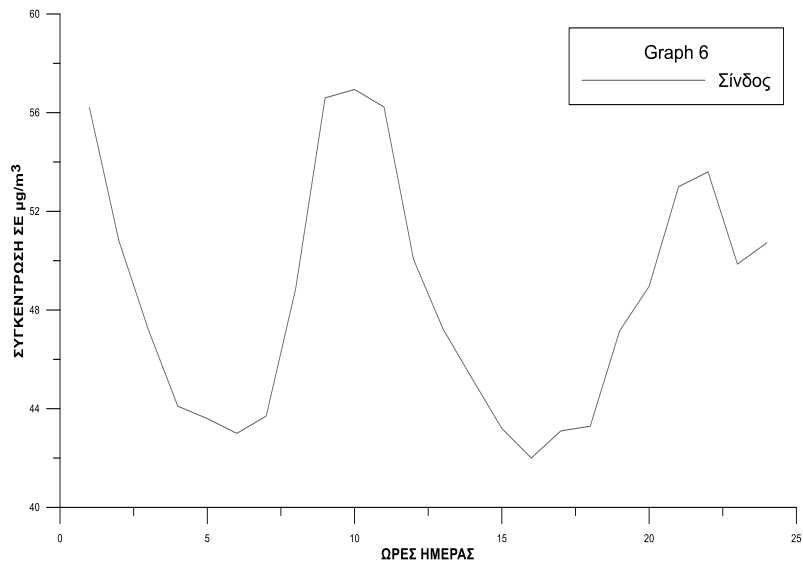


Εικόνα 3.11: Μέση ωριαία συγκέντρωση σωματιδίων PM10 Νεοχωρούδας για τα έτη 2001-2014

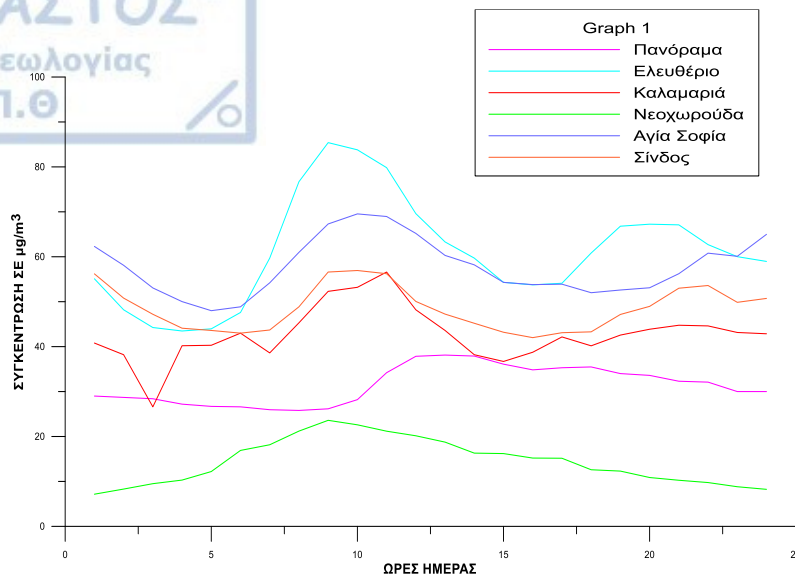




**Εικόνα 3.12: Μέση ωριαία συγκέντρωση σωματιδίων PM10 Αγίας Σοφίας για τα έτη 2001-2014**



**Εικόνα 3.13: Μέση ωριαία συγκέντρωση σωματιδίων PM10 Σίνδου για τα έτη 2001-2014**



**Εικόνα 3.14: Μέση ωριαία συγκέντρωση σωματιδίων PM10 συγκεντρωτικά για όλους τους σταθμούς για τα έτη 2001-2014**

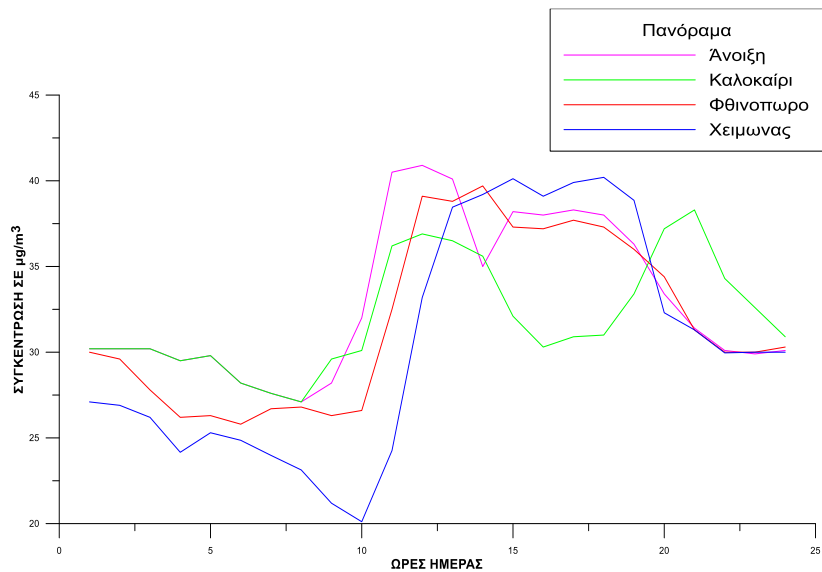
Όπως φαίνεται από τις καμπύλες της εικόνας 3.14, η συγκέντρωση των σωματιδίων παρουσιάζει στην διάρκεια ενός 24ώρου δύο τοπικά μέγιστα και δύο τοπικά ελάχιστα.

Ο σταθμός του Ελευθέριου είναι αυτός που παρουσίασε τις υψηλότερες συγκεντρώσεις με μέγιστη τιμή  $85.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ενώ οι μικρότερες συγκεντρώσεις καταγράφηκαν στο σταθμό της Νεοχωρούδας.

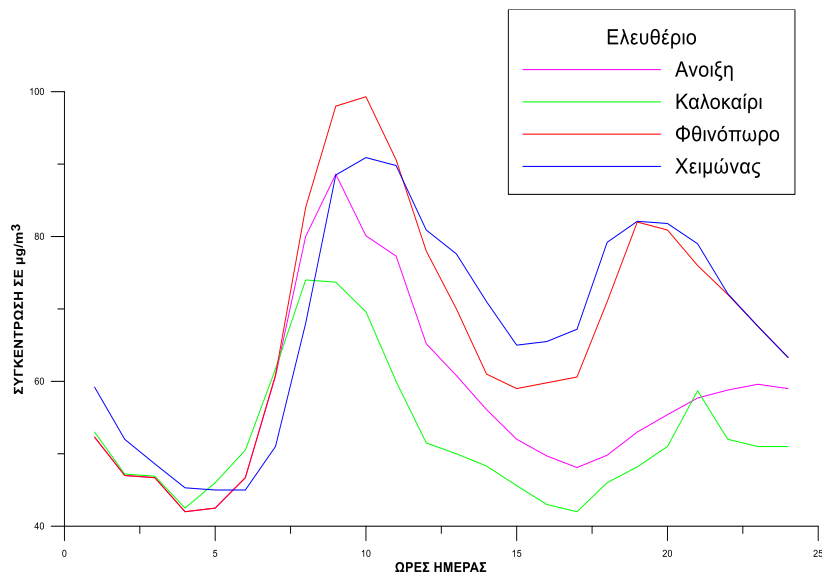
Το πρώτο μέγιστο εμφανίζεται περίπου 9:00-10:00 το πρωί, όπου η κυκλοφορία των αυτοκινήτων είναι ιδιαίτερα αυξημένη. Οι εκπομπές των αυτοκινήτων σε συνδυασμό με το χαμηλό ύψος του οριακού στρώματος που παρατηρείται νωρίς το πρωί, έχει ως αποτέλεσμα τις υψηλές συγκεντρώσεις των PM10. Ο σταθμός της Νεοχωρούδας εμφανίζει το μέγιστο του την ίδια ώρα περίπου.

Ο κάθε σταθμός, εκτός της Νεοχωρούδας, εμφανίζει το δευτερεύων μέγιστο της ημέρας το βράδυ, από τι 20:00 μέχρι της 24:00. Οι υψηλές αυτές συγκεντρώσεις οφείλονται στην συνδυαστική δράση τριών παραγόντων. Στην έντονη κυκλοφορία των αυτοκινήτων λόγω της λήξης του ωραρίου των καταστημάτων, στην λειτουργία των κεντρικών θερμάνσεων των κατοικιών και στην εμφάνιση θερμοκρασιακών αναστροφών. Τις πρώτες απογευματινές ώρες αρχίζουν να εμφανίζονται θερμοκρασιακές αναστροφές στην ατμόσφαιρα.

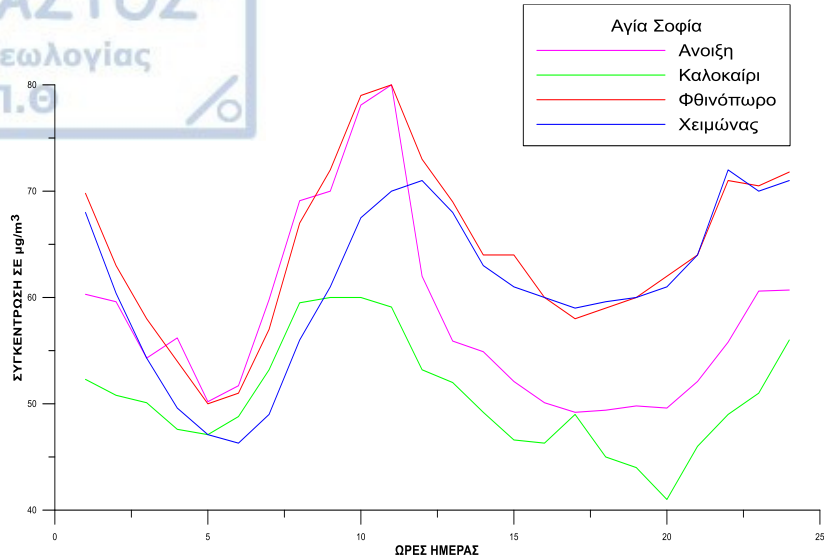
Στη συνέχεια μελετήθηκε ο ημερήσιος κύκλος της συγκέντρωσης των PM10 για τις τέσσερις εποχές της περιόδου 2001-2014 για κάθε σταθμό (εικόνες 3.15-3.20).



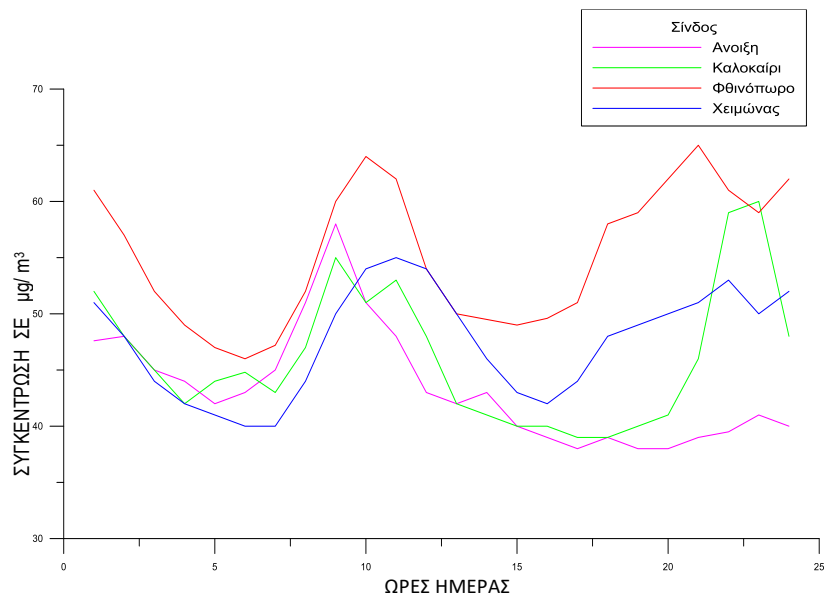
**Εικόνα 3.15: Μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις PM10 του σταθμού Πανοράματος, για τις τέσσερις εποχές της περιόδου 2001-2014**



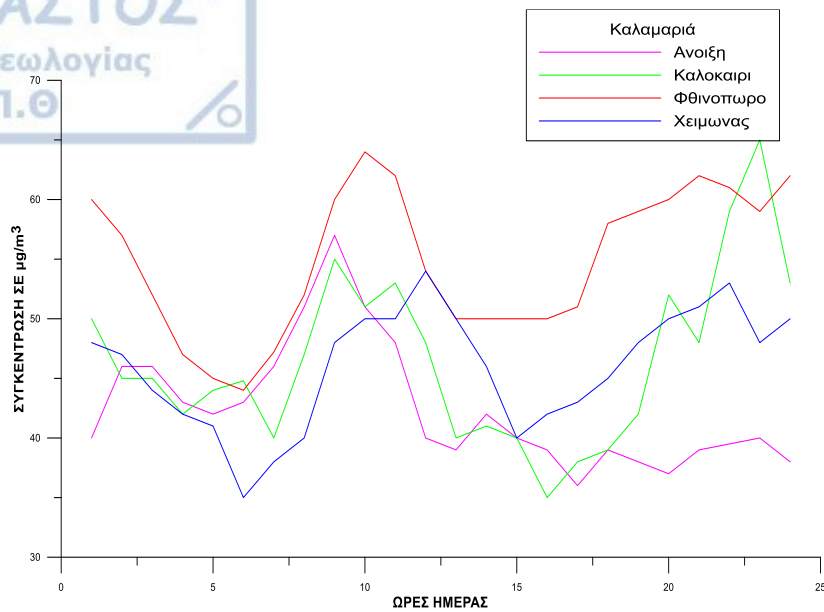
**Εικόνα 3.16: Μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις PM10 του σταθμού Ελευθερίου, για τις τέσσερις εποχές της περιόδου 2001-2014**



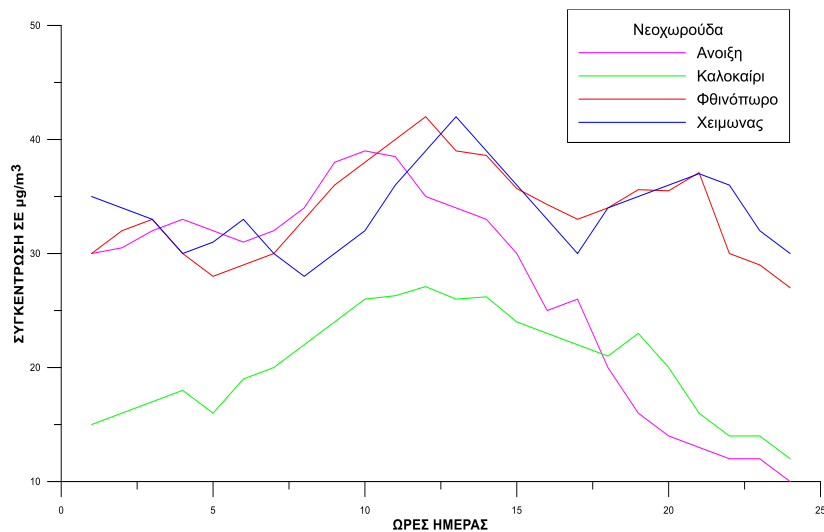
Εικόνα 3.17: Μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις PM10 του σταθμού Αγίας Σοφίας, για τις τέσσερις εποχές της περιόδου 2001-2014



Εικόνα 3.18: Μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις PM10 του σταθμού Σίνδου, για τις τέσσερις εποχές της περιόδου 2001-2014



**Εικόνα 3.19: Μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις PM10 του σταθμού Καλαμαριάς, για τις τέσσερις εποχές της περιόδου 2001-2014**



**Εικόνα 3.20: Μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις PM10 του σταθμού Νεοχωρούδας, για τις τέσσερις εποχές της περιόδου 2001-2014**



Από την μελέτη των εικόνων 3.15-3.20 προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Σε όλους τους σταθμούς το πρώτο μέγιστο της ημέρας εμφανίζεται πιο νωρίς το πρωί την περίοδο της άνοιξης και του καλοκαιριού από ότι εμφανίζεται το φθινόπωρο και το χειμώνα. Αυτό ίσως να οφείλεται στην παρουσία δευτερογενών σωματιδίων που σχηματίζονται από πρωτογενείς φωτοχημικούς ρύπους.

Κατά την θερμή περίοδο του έτους τα ρολόγια πηγαίνουν μία ώρα μπροστά. Άρα η έντονη κυκλοφορία των αυτοκινήτων λόγω του ωραρίου των καταστημάτων εμφανίζεται μία ώρα νωρίτερα την θερμή περίοδο σε σχέση με την ψυχρή περίοδο του έτους.

Σε όλους τους σταθμούς το βραδινό ελάχιστο εμφανίζεται πιο αργά την περίοδο της άνοιξης και του καλοκαιριού από ότι εμφανίζεται το χειμώνα. Αυτό συμβαίνει γιατί λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και λόγω της έντονης ηλιακής ακτινοβολίας, το ύψος του οριακού στρώματος αργεί να χαμηλώσει και έτσι διαρκεί περισσότερο η προς τα πάνω διάχυση των σωματιδίων.

Ο σταθμός του Κορδελιού είναι αυτός που εμφανίζει την πιο έντονη εποχικότητα στον ημερήσιο κύκλο των συγκεντρώσεων PM10. Ακολουθούν οι σταθμοί της Αγ. Σοφίας, της Σίνδου και τέλος της Νεοχωρούδας

### 3.5 Τάση διακύμανσης συγκεντρώσεων PM10

Μελετώντας καλύτερα τη διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων σωματιδίων PM10 την χρονική περίοδο 2001-2014, μπορούν να βγούνε κάποια συμπεράσματα σχετικά με την τάση διακύμανσης των συγκεντρώσεων όλων των σταθμών της περιφέρειας.

Πιο συγκεκριμένα, από το 2001 και έπειτα, όπου και έχουν θεσπιστεί κάποια όρια από την Ευρωπαϊκή Ένωση, μέχρι και το 2010 παρατηρείται διαχρονικά και σε όλους τους σταθμούς μια τάση μείωσης των συγκεντρώσεων των εκπεμπόμενων ρύπων, σε αντίθεση με την διατροφή που ακολουθεί όπου μια αυξητική τάση καταγράφεται σε τους σταθμούς, πλην αυτού του Ελευθερίου, ο οποίος εμφανίζει επίσης αυξητική τάση αλλά 2 χρόνια αργότερα, από το 2012 μέχρι το 2013.

Σημαντική παρατήρηση αποτελεί ότι την τελευταία χρονιά για την οποία γίνεται η μελέτη, όλοι οι σταθμοί παρουσιάζουν την τάση αύξησης των συγκεντρώσεων τους άλλοι σε μεγάλο βαθμό όπως αυτός της Καλαμαριάς και άλλοι σε μικρότερο όπως του Ελευθερίου που χαρακτηρίζεται από σχετική σταθεροποίηση των τιμών των.

Παρά όμως την γενική τάση μείωσης των συγκεντρώσεων την περίοδο 2001-2010, όλοι οι σταθμοί, εκτός της Νεοχωρούδας για τον οποίο δεν

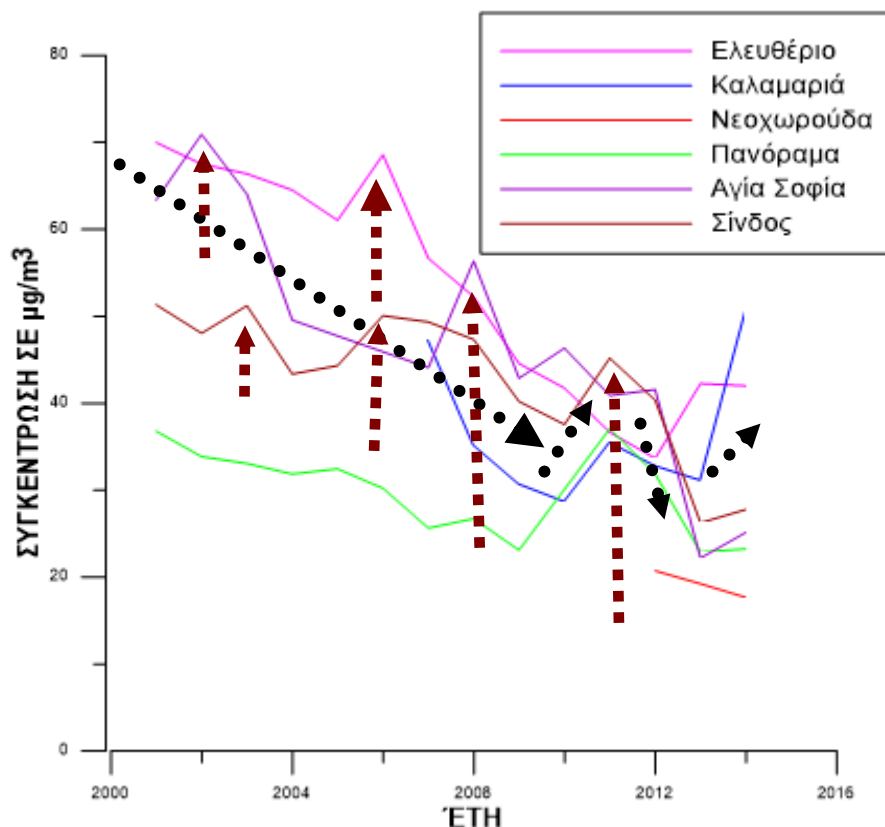


υπάρχουν επαρκείς μετρήσεις διαχρονικά και δεν μπορούμε να βγάλουμε ασφαλή συμπέρασμα, παρουσιάζουν κάποιες αυξομειώσεις στις συγκεντρώσεις των εκπεμπόμενων ρύπων αλλά σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Χαρακτηριστικές περιπτώσεις αυξομειώσεων αποτελούν οι σταθμοί της Σίνδου και της Αγίας Σοφίας κατά κύριο λόγο, ενώ ο σταθμός του Ελευθέριου κατά το 2006 έως το 2007 παρουσίασε μια σημαντική αυξομείωση.

Για τους σταθμούς του Πανοράματος και Καλαμαριάς, η μοναδική αυξομείωση που παρατηρείται είναι το 2011 χωρίς να θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική εφόσον δεν ξεπερνά την μέση ετήσια οριακή τιμή που έχει θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.21 που ακολουθεί, με κόκκινο βέλος τονίζονται οι χρονικές περιόδους όπου παρατηρήθηκαν σημαντικές αυξομειώσεις των συγκεντρώσεων στους αντίστοιχους σταθμούς, ενώ με μαύρο βέλος τονίζεται η γενική διακύμανση των τάσεων καθ' όλη την χρονική περίοδο 2001-2014.



Εικόνα 3.21: Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις σωματιδίων στους σταθμούς με τοποθέτηση των τάσεων διακύμανσης με μαύρα βέλη και με κόκκινα βέλη τις περιόδους αυξομειώσεων για τα έτη 2001-2014

### 3.6 Επίδραση παραγόντων στη συγκέντρωση σωματιδίων

Σε όλους τους σταθμούς οι μέγιστες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων εμφανίζονται όταν πνέει άνεμος χαμηλής έντασης. Η χαμηλή μέση ταχύτητα του ανέμου συντελεί στον μικρό βαθμό απομάκρυνσης των PM10.

Όλοι οι σταθμοί εμφανίζουν μέγιστες συγκεντρώσεις τον Νοέμβριο, κατά τις μέρες με χαμηλές ταχύτητες ανέμου. Αυτό είναι αποτέλεσμα όχι μόνο των εκπομπών (αυτοκίνητα, κεντρικές θερμάνσεις) αλλά και των δυσμενών μετεωρολογικών συνθηκών διασποράς, που εμποδίζουν την απομάκρυνση των ρύπων.

Κατά τις μέρες που πνέουν χαμηλής έντασης άνεμοι, παρατηρείται στους σταθμούς η εξής σταδιακή εποχική διακύμανση στις συγκεντρώσεις PM10:

PM10 χειμώνα > PM10 φθινόπωρο > PM10 άνοιξη > PM10 καλοκαίρι

Φαίνεται πως ο άνεμος είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός μηχανισμός στον καθαρισμό της ατμόσφαιρας από τους σωματιδιακούς ρύπους και αυτό εντοπίζεται σε όλους τους σταθμούς κατά τον χειμώνα.

Η βροχή αποτελεί έναν από τους μηχανισμούς απομάκρυνσης των σωματιδίων από την ατμόσφαιρα, καθώς προκαλεί την δέσμευση και την κατακρήμνιση των ατμοσφαιρικών ρύπων. Η αποτελεσματικότητά της στον καθαρισμό της ατμόσφαιρας εξαρτάται από την ένταση και την διάρκεια του φαινομένου.

Ο άνεμος και η βροχή συνεισφέρουν περίπου το ίδιο στην μείωση των συγκεντρώσεων και κατ' επέκταση στον καθαρισμό της ατμόσφαιρας από τα αιωρούμενα σωματίδια. Το αποτέλεσμα αυτό δεν οφείλεται μόνο στην δραστηριότητα της κάθε παραμέτρου αλλά και στην συχνότητα εμφάνισής της.

Η βροχόπτωση που είναι πολύ αποτελεσματική στον καθαρισμό της ατμόσφαιρας ακόμα και με μικρά ύψη βροχής, έχει μικρότερη συχνότητα εμφάνισης από ότι ο άνεμος κατά την διάρκεια του έτους. Αντιθέτως ο άνεμος που είναι αποτελεσματικός κυρίως σε μεγάλες ταχύτητες ανέμου, συνεισφέρει σημαντικά στην απομάκρυνση των αεροζόλ γιατί έχει μεγάλη συχνότητα εμφάνισης.

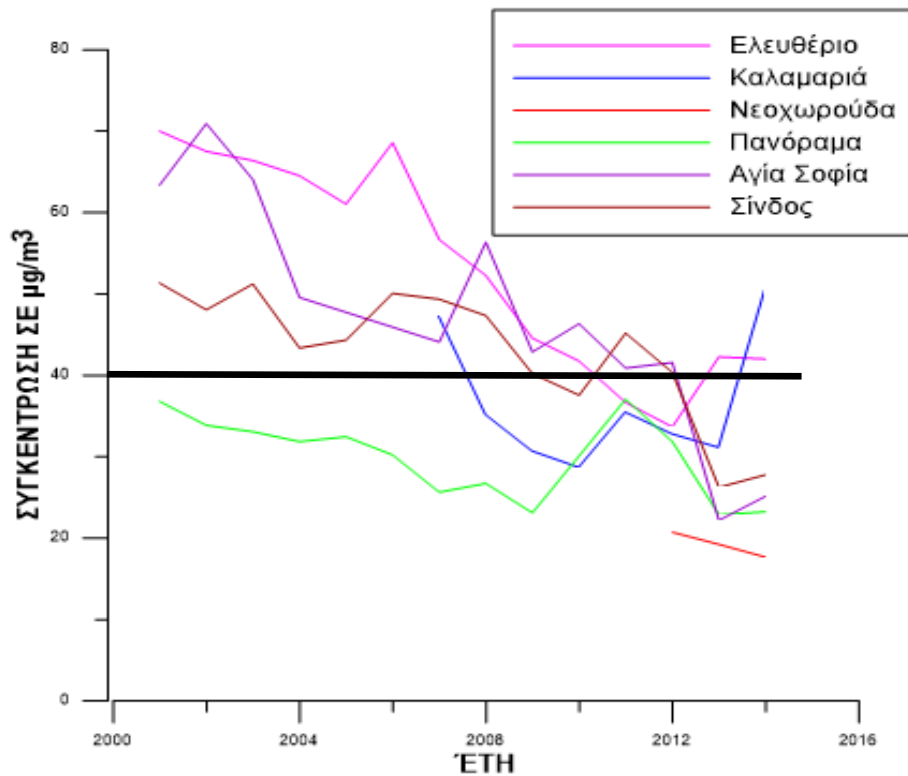
### 3.7 Μελέτη υπερβάσεων των ορίων σωματιδιακής ρύπανσης

Στην παράγραφο αυτή η μελέτη επικεντρώνεται στις υπερβάσεις των ορίων σωματιδιακής ρύπανσης οι οποίες σημειώθηκαν διαχρονικά τόσο σε ετήσια

όσο και σε ημερήσια μεταβολή για τα έτη 2001-2014 εικόνες : (3.22 ,3.23 και 3.24).

Η μέση ετήσια οριακή τιμή αντιστοιχεί στα 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Η 24ωρη οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας είναι τα 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  και δεν θα πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές το χρόνο, βάση της νομοθεσίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Από το 2001 μέχρι το 2004 δόθηκε ένα περιθώριο ανοχής το οποίο αθροίζεται στην οριακή τιμή, δίνοντας έτσι την ενδεικτική οριακή τιμή. Έτσι για κάθε έτος από το 2001 έως το 2004 η ενδεικτική τιμή ήταν 70, 65, 60 και 55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  αντίστοιχα. Από το 2005 και μετά η 24ωρη οριακή τιμή είναι τα 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

- Μελέτη για διαχρονική μεταβολή:

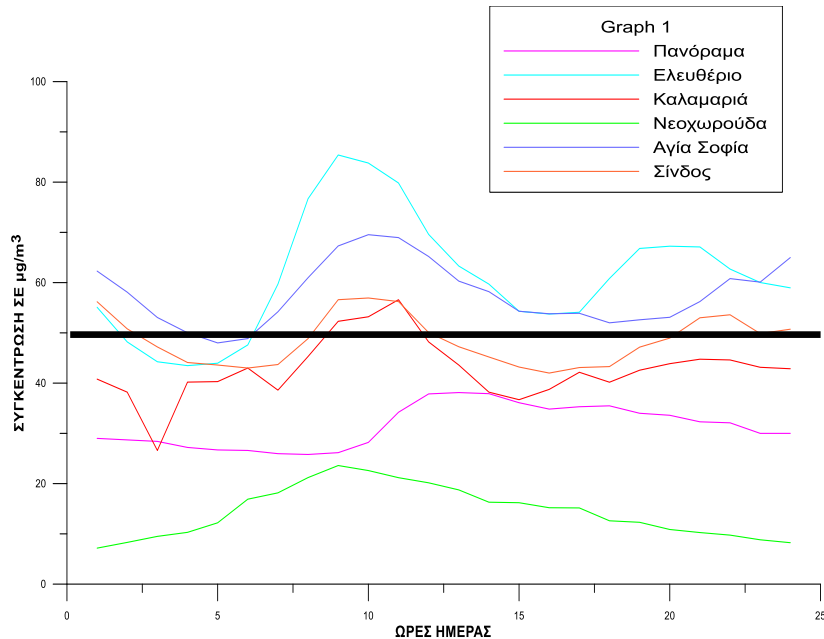


Εικόνα 3.22: Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις σωματιδίων στους σταθμούς με τοποθέτηση των ανωτάτων επιτρεπόμενων ορίων με μαύρη γραμμή για τα έτη 2001-2014

Τοποθετώντας το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο στις ετήσιες καταγραφές, είναι εμφανές ότι από τους έξι σταθμούς, οι σταθμοί του Ελευθέριου, της Αγίας Σοφίας και της Σίνδου κατά τη χρονική περίοδο 2001 έως 2009, ξεπερνούσαν τα ανώτατα όρια βάση της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας. Χαρακτηριστικές είναι οι περιπτώσεις των σταθμών Αγίας Σοφίας κατά το 2002 και του Κορδελιού κατά το 2006, όπου οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις τους ξεπερνούσαν κατά περίπου 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  το ανώτατο όριο των 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο σταθμός της Αγίας Σοφίας βρίσκεται μέσα στον αστικό ιστό της πόλης όπου η κίνηση στους δρόμους είναι αρκετά αυξημένη ενώ οι σταθμοί του Ελευθέριου και της Σίνδου βρίσκονται στη βιομηχανική ζώνη της περιοχής.

- Μελέτη για ημερήσια μεταβολή :

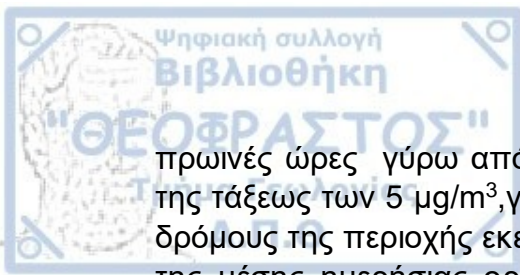


**Εικόνα 3.23: Μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις σωματιδίων στους σταθμούς με τοποθέτηση των ανωτάτων επιτρεπόμενων ορίων με μαύρη γραμμή για τα έτη 2001-2014**

Τοποθετώντας το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο στις μέσες ημερήσιες καταγραφές για την χρονική περίοδο 2001 έως 2014 στους σταθμούς Αγίας Σοφίας και Ελευθέριου παρατηρείται υπέρβαση των ορίων από τις 07:00 το πρωί μέχρι και το τέλος της ημέρας, γεγονός αρκετά ανησυχητικό.

Η μέγιστη απόκλιση των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων φτάνει περίπου τα  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  για το σταθμό του Ελευθέριου κατά τις 09:00-10:00 το πρωί και η δεύτερη μέγιστη απόκλιση φτάνει τα  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  στις 20:00, ενώ παρόμοια εικόνα δείχνει και ο σταθμός της Αγίας Σοφίας και σε μικρότερο βαθμό ο σταθμός της Σίνδου, ο οποίος βρίσκεται στη βιομηχανική ζώνη.

Οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις του σταθμού της Καλαμαριάς καθ'όλη την διάρκεια της ημέρας δεν υπερβαίνουν το ημερήσιο όριο με εξαίρεση τις



πρωινές ώρες γύρω από τις 10:00 όπου υπάρχει μια πολύ μικρή απόκλιση της τάξεως των  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , γεγονός που εξηγείται με την αυξημένη κίνηση στους δρόμους της περιοχής εκείνη την ώρα. Τέλος, δεν διακρίνεται καμία υπέρβαση της μέσης ημερήσιας οριακής τιμής καθ'όλη την διάρκεια της ημέρας στις συγκεντρώσεις των σταθμών Πανοράματος και Νεοχωρούδας μιας και το μεγάλο υψόμετρο στο οποίο βρίσκονται οι συγκεκριμένοι σταθμοί, δικαιολογεί πλήρως αυτή την παρατήρηση.

Όπως είναι ήδη γνωστό η ημερήσια οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας είναι τα  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  και δεν θα πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές το χρόνο.

Αυτό αντιστοιχεί σε ποσοστό 9.6% ( $100 \cdot 35 / 365 = 9.6\%$ ).

Στον πίνακα 2 που ακολουθεί παρατίθεται η στατιστική ανάλυση των υπερβάσεων του ημερήσιου ορίου για κάθε σταθμό και έτος ξεχωριστά επί των ημερών με διαθέσιμες μετρήσεις, ενώ στην εικόνα ( 3.24 ) αναλύεται το ποσοστό (%) των ημερών των υπερβάσεων της ημερήσιας οριακής τιμής των  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Όπως φαίνεται και στην εικόνα (3.24), οι σταθμοί που παρουσιάζουν τις περισσότερες υπερβάσεις ημερήσιου ορίου κατά την περίοδο 2001 έως 2014 είναι αυτοί του Ελευθερίου και της πλατείας Αγίας Σοφίας. Χαρακτηριστικές είναι οι περιπτώσεις κατά το 2006 για το σταθμό του Ελευθερίου και κατά το 2008 για το σταθμό της Αγίας Σοφίας όπου και καταγράφηκαν τα υψηλότερα ποσοστά των ημερών με υπερβάσεις του ορίου. Σημαντικά είναι και τα ποσοστά του σταθμού της Σίνδου εφόσον από το 2001 μέχρι και το 2012 το ποσοστό των ημερών που υπήρξε υπέρβαση της οριακής τιμής βρίσκεται πάνω από το θεσμοθετημένο όριο. Αυξομειώσεις στα ποσοστά του εμφανίζει ο σταθμός της Καλαμαριάς από το 2007 έως το 2014 όπου και έχουμε διαθέσιμες μετρήσεις, χωρίς όμως αυτά να πέφτουν κάτω από την οριακή τιμή με εξαίρεση το 2010 και το 2012. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι στους σταθμούς Πανοράματος και Νεοχωρούδας τα ποσοστά ημερών με υπερβάσεις δεν ξεπερνούν την τιμή του ορίου με εξαίρεση τα έτη 2005, 2011 και 2012.

Σταθμός	Ημέρες υπερβάσεων ημερήσιου ορίου	Ημέρες με διαθέσιμες μετρήσεις	Ποσοστό (%) υπερβάσεων επί των ημερών με διαθέσιμες μετρήσεις
<b><u>ΚΟΡΔΕΛΙΟ</u></b>			
2001	112	303	37
2002	164	357	46
2003	140	261	53,6
2004	62	121	51,2
2005	106	196	54
2006	170	267	63,6
2007	159	322	49,3
2008	157	317	49,5
2009	85	263	32,3
2010	64	301	21,2
2011	60	361	16,6
2012	52	355	14,6
2013	45	157	28,6
2014	57	177	32,2
<b><u>ΑΓΙΑΣ ΣΟΦΙΑΣ</u></b>			
2001	102	358	28,5
2002	179	363	49,3
2003	169	334	50,6
2004	18	54	33,3
2005	#	#	#
2006	#	#	#
2007	107	328	32,6
2008	188	331	56,8
2009	71	256	27,7
2010	101	341	29,6
2011	88	363	24,2
2012	91	362	25,1

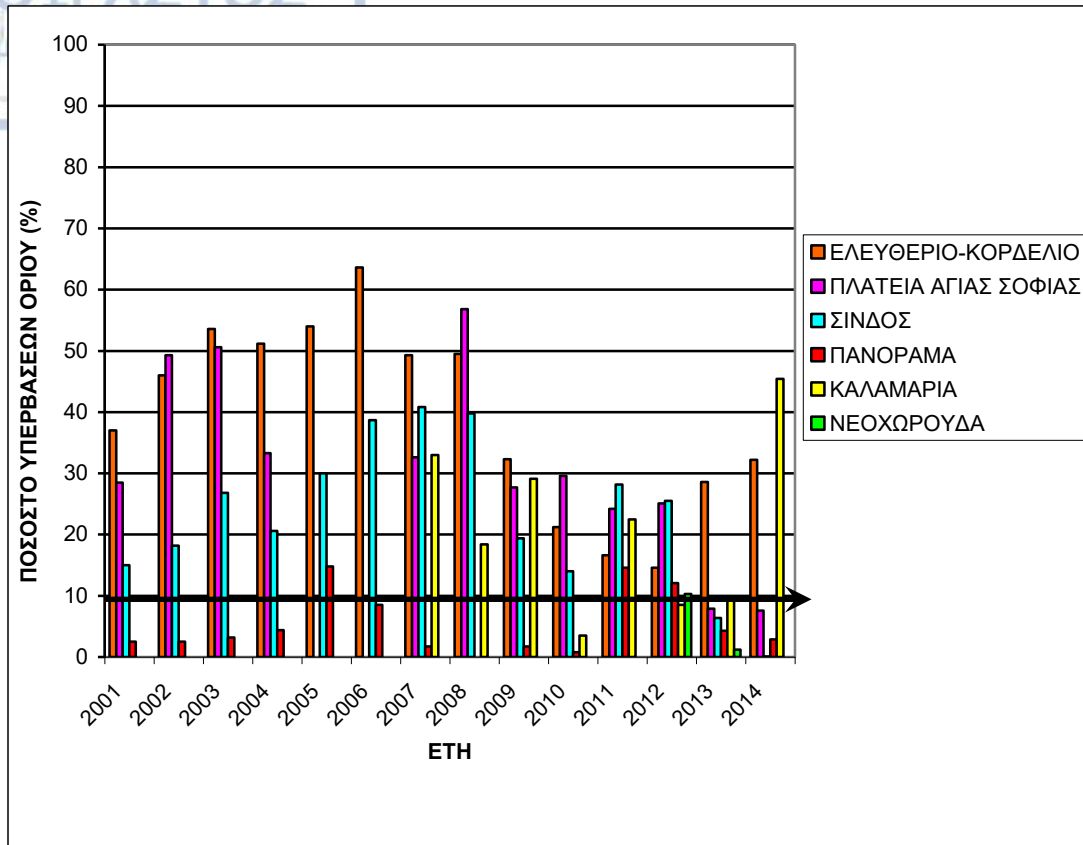




2013	29	365	7,9
2014	15	197	7,6
<b><u>ΣΙΝΔΟΣ</u></b>			
2001	55	365	15
2002	66	363	18,2
2003	92	343	26,8
2004	60	291	20,6
2005	43	143	30
2006	101	261	38,7
2007	146	358	40,8
2008	123	309	39,8
2009	25	129	19,4
2010	13	93	14
2011	79	280	28,2
2012	93	365	25,5
2013	23	359	6,4
2014	1	169	0,6
<b><u>ΠΑΝΟΡΑΜΑ</u></b>			
2001	9	365	2,5
2002	9	355	2,5
2003	9	282	3,2
2004	14	320	4,4
2005	12	81	14,8
2006	28	328	8,5
2007	6	347	1,7
2008	0	32	0
2009	3	171	1,7
2010	1	121	0,8
2011	50	341	14,6
2012	44	363	12,1
2013	9	206	4,3
2014	5	170	2,9
<b><u>ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ</u></b>			
2001-2006	#	#	#

2007	91	276	33
2008	52	282	18,4
2009	7	24	29,1
2010	9	257	3,5
2011	48	213	22,5
2012	23	271	8,5
2013	23	232	9,9
2014	10	22	45,4
<b><u>ΝΕΟΧΩΡΟΥΔΑ</u></b>			
2001-2011	#	#	#
2012	3	29	10,3
2013	3	251	1,2
2014	0	0	0

Πίνακας 2 : Στατιστικά στοιχεία υπερβάσεων του ημερήσιου ορίου των σταθμών της Περιφέρειας ανά έτος για την περίοδο 2001-2014. Το σύμβολο # εκφράζει έλλειψη δεδομένων.



**Εικόνα 3.24:** Ποσοστό (%) των ημερών που υπήρξε υπέρβαση της οριακής τιμής στους σταθμούς της Περιφέρειας, την περίοδο 2001-2014. Με μαύρο βέλος σημειώνεται το περιθώριο ανοχής των 35 ημερών που αντιστοιχεί σε ποσοστό 9,6%.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

#### 4.1 Συμπεράσματα από τη μελέτη της σωματιδιακής ρύπανσης στην περιοχή της Θεσσαλονίκης

Από την μελέτη της σωματιδιακής ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα.

1) Διαχρονικά, παρατηρείται πτωτική τάση των συγκεντρώσεων των PM10 σε όλους τους σταθμούς. Αυτό δείχνει ότι ίσως να υπήρξαν παρεμβάσεις από τον Δήμο για την μείωση των σωματιδιακών εκπομπών και την βελτίωση της ποιότητας του αέρα.

2) Οι σταθμοί Ελευθέριου και Αγ. Σοφίας φαίνεται να είναι οι πιο επιβαρημένοι από αιωρούμενα σωματίδια. Οι σταθμοί αυτοί βρίσκονται στο κέντρο της πόλης όπου η κυκλοφορία των αυτοκινήτων είναι έντονη και η απομάκρυνση των σωματιδιακών ρύπων εμποδίζεται εξαιτίας της πυκνής δόμησης.

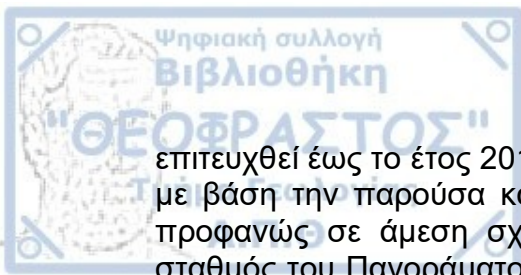
3) Οι σταθμοί που είναι πιο απομακρυσμένοι από το κέντρο της πόλης, όπως ο σταθμός της Σίνδου, του Πανοράματος και της Καλαμαριάς, εμφανίζουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Ο σταθμός της Νεοχωρούδας εμφανίζει χαμηλές συγκεντρώσεις λόγω του μεγάλου του υψομέτρου.

4) Κατά την ψυχρή περίοδο του έτους οι συγκεντρώσεις είναι υψηλότερες γιατί εμφανίζεται ο επιπρόσθετος παράγοντας της λειτουργίας των κεντρικών θερμάνσεων των κατοικιών. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη συνδυασμένη δράση της έντονης κυκλοφοριακής κίνησης, της λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης και της συμβολής δυσμενών τοπικών μετεωρολογικών συνθηκών, όπως η άπνοια και οι θερμοκρασιακές αναστροφές.

5) Ο Νοέμβριος είναι ο μήνας του έτους όπου εμφανίζονται μέγιστες συγκεντρώσεις σε όλους τους σταθμούς. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται αφενός από τις υψηλές συγκεντρώσεις PM10 λόγω της κίνησης των αυτοκινήτων και της λειτουργίας των κεντρικών θερμάνσεων, και αφετέρου από το ότι τον Νοέμβριο η θαλάσσια αύρα έχει αποδυναμωθεί και οι χειμερινοί άνεμοι των βόρειων διευθύνσεων δεν έχουν ακόμα ενισχυθεί.

6) Στην περιοχή του Πανοράματος οι συγκεντρώσεις PM10 παραμένουν σχεδόν σταθερές σε όλη την διάρκεια του έτους (οι τιμές να κυμαίνονται από 23-37  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Η ρύπανση αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στο αστικό υπόβαθρο ρύπανσης, δηλαδή σωματιδιακή ρύπανση που προέρχεται από φυσικές πηγές εκπομπής και μεταφορά δευτερογενών σωματιδίων από άλλες περιοχές.

7) Τα επίπεδα σωματιδιακής ρύπανσης στην Θεσσαλονίκη είναι πολύ υψηλά με αποτέλεσμα να εμφανίζονται σημαντικές παραβιάσεις των νομοθετημένων ορίων. Οι συγκεντρώσεις των PM10 στους περισσότερους σταθμούς είναι κατά πολύ πάνω από τα επιτρεπτά όρια. Το ενδεικτικό ετήσιο όριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης των 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , που υποτίθεται ότι θα έπρεπε να



επιτευχθεί έως το έτος 2010, δεν αποτελεί ρεαλιστικό και προσεγγίσιμο στόχο, με βάση την παρούσα κατάσταση. Η επίτευξη αυτού του στόχου βρίσκεται προφανώς σε άμεση σχέση με τη μείωση της ρύπανσης υποβάθρου. Ο σταθμός του Πανοράματος και Νεοχωρούδας είναι ο μόνος σταθμός που δεν υπερβαίνει τα θεσμοθετημένα όρια.

8) Όλοι οι σταθμοί εκτός του Πανοράματος και της Νεοχωρούδας, παραβιάζουν το όριο των 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  όλες τις εποχές του χρόνου όταν ο άνεμος πνέει με χαμηλή ένταση.

## 4.2 Προτάσεις αντιμετώπισης του φαινομένου

Όπως έχει αποδειχθεί, τα αιωρούμενα σωματίδια σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλούν σοβαρά προβλήματα υγείας στον άνθρωπο και επομένως είναι άμεση η ανάγκη να ληφθούν ουσιαστικά μέτρα αντιμετώπισης και μείωσης των συγκεντρώσεων. Η αντιμετώπιση του προβλήματος απαιτεί συνολική και ολοκληρωμένη παρέμβαση η οποία θα περιλαμβάνει βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα μέτρα αντιμετώπισης, κάποια από αυτά θα μπορούσαν να είναι τα εξής:

- ✓ Έλεγχος ποιότητας καυσίμων
- ✓ Ανανέωση των καυστήρων των κατοικιών
- ✓ Χρήση φυσικού αερίου στις βιομηχανίες και στις κατοικίες
- ✓ Χρήση βελτιωμένων φίλτρων στις βιομηχανίες
- ✓ Βελτίωση τεχνολογίας οχημάτων
- ✓ Συχνότερος έλεγχος των εκπομπών των σωματιδιακών ρύπων
- ✓ Γρήγορη υλοποίηση του μετρώ
- ✓ Ενημέρωση των πολιτών για την επικινδυνότητα των σωματιδιακών ρύπων και παρότρυνση για την χρήση μέσων μαζικής μεταφοράς



Τα τελευταία χρόνια έχουμε ραγδαία αύξηση των σωματιδίων ανθρωπογενούς προέλευσης στην ατμόσφαιρα, κάτι που έχει προκαλέσει άνοδο της θερμοκρασίας του πλανήτη. Επίσης, αυξήθηκαν οι καρκινογενέσεις, οι αλλεργίες, οι θρομβώσεις, τα εγκεφαλικά και τα νοσήματα του αναπνευστικού.

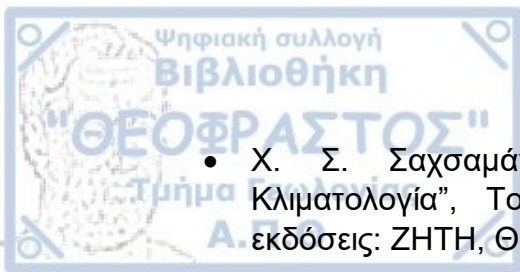
Η προστασία της ατμόσφαιρας είναι ένα περιβαλλοντικό ζήτημα που θα έχει πρωταρχική θέση στις κοινοτικές πολιτικές του επόμενου αιώνα, επηρεάζοντας ευρύ φάσμα πολιτικών όπως στον τομέα της ενέργειας, των μεταφορών και της πολεοδομίας. Οι επιπτώσεις από το φαινόμενο του θερμοκηπίου δεν περιορίζονται στα σύνορα κρατών, αλλά αποτελούν παγκόσμια προβλήματα και απαιτείται διεθνής συνεργασία και χάραξη κοινής πολιτικής από όλα τα κράτη και συγκεκριμένα ανάπτυξη τεχνολογιών και μέσων μεταφοράς που θα βασίζονται λιγότερο ή και θα είναι ανεξάρτητα από καύσιμα υλικά. Οι ήπιες μορφές ενέργειας (ηλιακή, αιολική, γεωθερμική) μπορεί να βοηθήσουν στην κατεύθυνση αυτή.





## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Air Pollution in World: Real-time Air Quality Index Visual Map (<http://aqicn.org/map/world/#@g/5.7345/7.9102/2z>)
- Μαχαίρας, Π., & Μπαλαφούτης, Χ. (1997). Γενική κλιματολογία με στοιχεία μετεωρολογίας. Εκδόσεις UNIVERSITY STUDIO PRESS, Θεσσαλονίκη.
- Μελάς Δ., Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Εργαστήριο φυσικής της ατμόσφαιρας, Τμήμα φυσικής Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη
- Μελάς Δ., Φυσική ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, 2004, Τμήμα φυσικής Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη
- Ζάνης Π., Ρύπανση της Ατμόσφαιρας , Σεπτέμβριος 2014, Τομέας μετεωρολογίας και κλιματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη .
- Σούφλα Ε., 2013, Μελέτη των ατμοσφαιρικών ρύπων στην πόλη της Πάτρας με τη μέθοδο της ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες , Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών .
- Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο  
([http://old-2017.metal.ntua.gr/uploads/3736/air\\_pollution.pdf](http://old-2017.metal.ntua.gr/uploads/3736/air_pollution.pdf))
- Τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα, Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών-Τομέας Φυσικής, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο
- WHO Global Urban Ambient Air Pollution Database (update 2016), WORLD HEALTH ORGANISATION (<http://www.who.int/phe/en/>)
- Σαχινίδης, Ζεμπεκάκης & Κεμετζή, εκδόσεις VIPAPHARM, Ο ρόλος των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας και του όζοντος στη διαμόρφωση του κλίματος και οι επιπτώσεις του στην υγεία του ανθρώπου.
- Πετρακάκης ,2009, Μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων στη Θεσσαλονίκη  
([http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/EKD\\_HLVSEIS/EKDHLWSEIS\\_2010\\_2013/METRHSEIS\\_AIWROYMENWN\\_SWMATIDIWN\\_STH\\_THESSALONIKH/Tab1/petrakakhs.pdf](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/EKD_HLVSEIS/EKDHLWSEIS_2010_2013/METRHSEIS_AIWROYMENWN_SWMATIDIWN_STH_THESSALONIKH/Tab1/petrakakhs.pdf))



- Χ. Σ. Σαχσαμάνογλου– Α. Α. Μπλούτσος , 1998,“Φυσική Κλιματολογία”, Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας Α.Π.Θ, εκδόσεις: ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.

- Μπάης, 2005,Φυσική της ατμόσφαιρας, μέρος ΙΙ, ατμοσφαιρική σύσταση, παγκόσμιοι κύκλοι, χρόνοι ζωής και αιωρούμενα σωματίδια.

#### Links από τα οποία χρησιμοποιήθηκαν εικόνες:

- (<http://www.physics.ntua.gr/~papayannis/Articles%20for%20tamex/PMs-TSI.pdf>)  
σελίδα:12
- (<http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/AtmosphericChemistry/ch09s02.html>)  
σελίδα:13,14
- ([http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/cities/en/](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/))  
σελίδα:18
- (<http://aqicn.org/map/world/#@g/5.7345/7.9102/2z>)  
σελίδα:19
- (<http://www.airthess.gr/>)  
σελίδα:28,29,30