

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

## ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Διπλωματική Εργασία**

**«Ανίχνευση Πηγών Αιωρούμενων Σωματιδίων στην  
Περιοχή της Θεσσαλονίκης»**

**Κουγιουμτζίδης Ελευθέριος**

**Επιβλέπων : Δρ. Μπάρτζης Ιωάννης**

**Κοζάνη, 2013**

## Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Ανίχνευση πηγών αιωρούμενων σωματιδίων στην περιοχή της Θεσσαλονίκης» πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της εκπαιδευτικής διαδικασίας στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας κατά την περίοδο 2011-2012.

Σκοπός της εργασίας είναι η ανίχνευση των πηγών αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>2.5</sub> στην περιοχή της Θεσσαλονίκης, η ποσοτικοποίηση των συνεισφορών των πηγών στις μετρούμενες συγκεντρώσεις καθώς και η παρατήρηση των εποχικών διακυμάνσεων των παραπάνω συνεισφορών.

Την ανάθεση επίβλεψη και τον συντονισμό της διπλωματικής εργασίας είχε ο κύριος Μπάρτζης Ιωάννης, Διευθυντής του εργαστηρίου Τεχνολογίας Περιβάλλοντος.

Ευχαριστώ θερμά την φυσικό – ερευνητή Δρ. Δικαία Σαραγά καθώς, τον υποψήφιο Διδάκτωρ Σακελλάρη Ιωάννη και τον χημικό Δρ. Ευάγγελο Τόλη για τις συμβουλές, παρατηρήσεις και τις διορθώσεις καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

## **Περίληψη**

Η παρούσα εργασία με τίτλο «Ανίχνευση πηγών αιωρούμενων σωματιδίων στην περιοχή της Θεσσαλονίκης» εκπονήθηκε κατά τα έτη 2011-2012 με σκοπό τον προσδιορισμό των πηγών των αιωρούμενων σωματιδίων στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Γίνεται χρήση ενός ευρέως χρησιμοποιούμενου στατιστικού εργαλείου για την εύρεση των πηγών και την ποσοτικοποίηση των συνεισφορών στις μετρούμενες συγκεντρώσεις.

## Περιεχόμενα

<b>Πρόλογος</b>	<b>2</b>
<b>Περίληψη</b>	<b>3</b>
<b>Περιεχόμενα</b>	<b>4</b>
<b>1. Εισαγωγή</b>	<b>6</b>
<b>2. Ατμοσφαιρική Ρύπανση</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Ιστορικά Στοιχεία</b> .....	<b>6</b>
2.1.2 Πριν την βιομηχανική επανάσταση.....	6
2.1.3 Από την βιομηχανική επανάσταση μέχρι σήμερα .....	7
<b>3. Παγκόσμια απόσταξη και εναπόθεση</b>	<b>13</b>
<b>4. Οργανικοί Ρύποι</b>	<b>14</b>
<b>4.1 Αιωρούμενα σωματίδια</b> .....	<b>15</b>
<b>4.2 Οι Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες</b> .....	<b>17</b>
<b>4.3 Ιόντα</b> .....	<b>18</b>
<b>4.4 Μέταλλα</b> .....	<b>21</b>
<b>4.5 Οργανικός, Στοιχειακός Άνθρακας</b> .....	<b>23</b>
<b>5. Πηγές αιωρούμενων σωματιδίων</b>	<b>27</b>
<b>5.1 Ανθρωπογενείς πηγές</b> .....	<b>27</b>
5.1.1 Εκπομπές από τις μεταφορές .....	27
5.1.2 Εκπομπές από διαδικασίες καύσης.....	29
<b>5.2 Φυσικές πηγές</b> .....	<b>29</b>
<b>5.2.1 Ηφαιστειακές εκπομπές</b> .....	<b>29</b>
5.2.2 Μεταφορά σκόνης .....	30
<b>5.3 Εκπομπές από δραστηριότητες που δεν περιλαμβάνουν καύση</b> .....	<b>31</b>
<b>6. Η περίπτωση της Θεσσαλονίκης</b>	<b>32</b>
<b>6.1 Οδικές αρτηρίες – Λιμάνια και πιθανές πηγές εκπομπών</b> .....	<b>34</b>
6.1.1 Οδικό Δίκτυο – Σιδηροδρομικό Δίκτυο .....	34
6.1.2 Λιμάνι Θεσσαλονίκης.....	36
<b>7. Ανίχνευση πηγών αιωρούμενων σωματιδίων</b>	<b>37</b>
<b>7.1 Η μεθοδολογία Source Apportionment</b> .....	<b>37</b>

7.2	Μοντέλα αποδέκτη .....	38
7.3	Το μοντέλο της Positive Matrix Factorization (PMF) .....	40
<b>8.</b>	<b>Μελέτη Ανίχνευσης Πηγών Αιωρούμενων Σωματιδίων PM2.5 στην Περιοχή της Θεσσαλονίκης</b>	<b>42</b>
8.1	Μετρήσεις Αιωρούμενων Σωματιδίων PM2.5 στην περιοχή της Θεσσαλονίκης .....	42
8.2	Αποτελέσματα Εφαρμογής του Μοντέλου Positive Matrix Factorization ....	43
8.2.1	Η Περιοχή του κέντρου της Θεσσαλονίκης.....	45
8.2.2	Η Περιοχή του Λιμανιού Θεσσαλονίκης.....	52
8.3	Εποχική Διακύμανση .....	58
8.3.1	Η περιοχή του Κέντρου της Θεσσαλονίκης .....	58
8.3.2	Η περιοχή του Λιμανιού της Θεσσαλονίκης.....	60
<b>9.</b>	<b>Σύνοψη - Συζήτηση</b>	<b>62</b>
	<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>65</b>

## 1. Εισαγωγή

Από τις αρχές της βιομηχανικής επανάστασης (1760 – 1860) ο άνθρωπος χρησιμοποίησε όλο και περισσότερο τεχνικά μέσα για την βελτίωση της παραγωγής. Η χρησιμοποίηση μηχανών σε διάφορους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, όπως βιομηχανική παραγωγή και γεωργία, οδήγησε αναπόφευκτα στην χρήση ορυκτών ή μη καυσίμων.

Η τεράστια διασπορά και χρήση αυτών των καυσίμων επέφερε τρομακτική επιβάρυνση του περιβάλλοντος με διάφορους μολυσματικούς παράγοντες. Με τον όρο μόλυνση του περιβάλλοντος νοείται η κάθε είδους απελευθέρωση στο περιβάλλον, παραγόντων οι οποίοι μπορεί να προκαλέσουν αστάθεια στο οικοσύστημα. Ενδεικτικά, αναφέρονται οι ποσότητες έκλυσης μερικών γνωστών αερίων τα οποία παράγονται, ως επί το πλείστον, από ανθρωπογενείς δραστηριότητες :

- Διοξείδιο του Άνθρακα (CO<sub>2</sub>) : περισσότεροι από  $27 \times 10^9$  τόνοι εκλύονται κάθε έτος
- Υδρογονάνθρακες :  $10^8$  τόνοι ανά έτος
- Χλωροφθοράνθρακες (CFC's)  $110 \times 10^3$  τόνοι ανά έτος

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με την αέρια ρύπανση και συγκεκριμένα με την πιθανή εύρεση των πηγών ορισμένων Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων , Οργανικού και Στοιχειακού άνθρακα (OC, EC), ιόντων και μετάλλων.

## 2. Ατμοσφαιρική Ρύπανση

### 2.1 Ιστορικά Στοιχεία

#### 2.1.2 Πριν την βιομηχανική επανάσταση

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ξεκινάει ήδη από τα αρχαία χρόνια. Κατά την ανακάλυψη της φωτιάς και τη χρήση της ως τρόπο θέρμανσης και μαγειρέματος ο άνθρωπος ήρθε σε επαφή και με τα διάφορα παράγωγά της, όπως οι δυσάρεστες οσμές και οι σωματιδιακοί ρύποι. Η χρήση μέσων απομάκρυνσης του καπνού από τους χώρους διαβίωσης ήταν απαραίτητη για την διατήρηση της

ποιότητας του αέρα. Η απομάκρυνση του μολυσμένου αέρα έγινε με την χρήση της καμινάδας.

Διάφορες εργασίες όπως μεταλλουργία, κεραμική και άλλες απαιτούσαν την καύση ξύλων η οποία γίνονταν συνήθως κοντά στα δάση, καθώς το κόστος μεταφοράς των πρώτων υλών ήταν υψηλό. Επίσης, με αυτό τον τρόπο και λόγω της απόστασης των πηγών εκπομπής από τους οικισμούς – πόλεις ελάχιστοι άνθρωποι έρχονταν σε επαφή με τους αέριους ρύπους.

Αναφορές σχετικά με την ρύπανση στις πόλεις από την καύση ξύλων υπάρχουν με την μορφή ποιημάτων, όπως του Ρωμαίου Οράτιου, ο οποίος γράφει πως τα Ρωμαϊκά κτίσματα γίνονταν όλο και πιο μαύρα, φαινόμενο το οποίο πιθανώς να είχε παρατηρηθεί και σε διάφορες άλλες αρχαίες πόλεις. Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι η Ρωμαϊκή Σύγκλητος είχε θεσπίσει νόμο κατά τον οποίο απαγορεύονταν η ρύπανση του αέρα.

Από τις πρώτες βιομηχανίες οι οποίες συνδέθηκαν με το πρόβλημα της αέριας ρύπανσης είναι οι μεταλλουργία , η εξόρυξη μεταλλευμάτων και τα κεραμουργία.

### **2.1.3 Από την βιομηχανική επανάσταση μέχρι σήμερα**

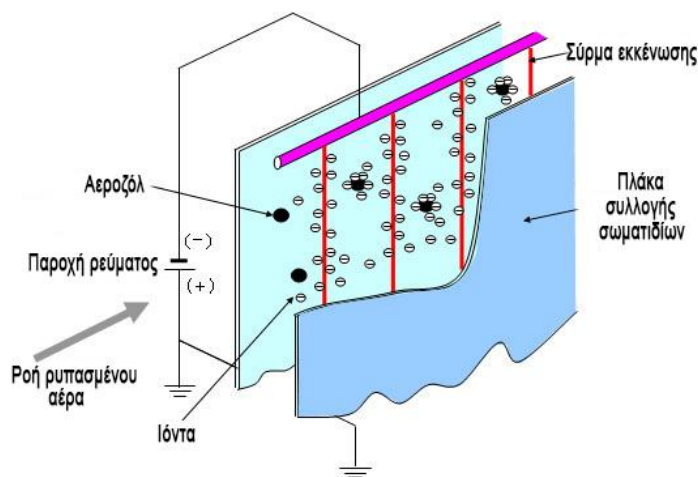
Με τον όρο βιομηχανική επανάσταση αναφερόμαστε στην περίοδο από το 1750 μέχρι το 1850, κατά την οποία γίνεται η χρήση ατμού για την παραγωγή ενέργειας και την κίνηση των μηχανών. Η χρήση της παλινδρομικής μηχανής του Watt είχε τεράστιο αντίκτυπο σε πολλές πτυχές της ζωής του ανθρώπου. Είναι αξιοσημείωτη η άνοδος τόσο του ανθρώπινου πληθυσμού όσο και των εισοδημάτων, τα οποία συνέβησαν με την είσοδο των μηχανών στην καθημερινότητα. Μαζί με την άνοδο στο βιοτικό επίπεδο ήρθε και άνοδος των επιπέδων μόλυνσης της ατμόσφαιρας. Η έκλυση ιπτάμενης τέφρας και καπνού από την καύση κάρβουνου στα σπίτια και στους καυστήρες μονάδων παραγωγής ενέργειας καθώς και η εκτεταμένη τους χρήση στην βιομηχανία γενικά οδήγησε σε μεγάλες πιέσεις στο Αγγλικό κοινοβούλιο για την λήψη μέτρων επιβολής ελέγχου και περιορισμού τους. Τα πρώτα μέτρα στην Αγγλία πάρθηκαν ήδη από τον Εδουάρδο τον Ατο 1306, ο οποίος απαγόρευσε, προσωρινά, την καύση κάρβουνου στο Λονδίνο. Παρόλα αυτά και κατά τη διάρκεια της βιομηχανικής επανάστασης τα επεισόδια καπνομίχλης ήταν σύνηθες φαινόμενο.

Ήδη από τα πρώτα χρόνια του 20<sup>ου</sup> αιώνα είχαν πραγματοποιηθεί αρκετές αλλαγές όσον αφορά το θέμα των ρύπων από την βιομηχανία, με κυριότερη την

ανακάλυψη των ηλεκτροστατικών φίλτρων (Electrostatic Precipitator –ESP) τα οποία μπορούν να απομακρύνουν μέχρι και το 99,9% των σωματιδιακών ρύπων και χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα. Κατά την λειτουργία τους η ροή του ρυπασμένου αέρα οδηγείται ενδιάμεσα από τις φορτισμένες πλάκες. Λόγω της μεγάλης διαφοράς δυναμικού των πλακών τα σωματίδια φορτίζονται και έτσι κατά αυτό τον τρόπο προσκολλώνται στις πλάκες.



**Εικόνα 1: Βιομηχανική εγκατάσταση ESP**

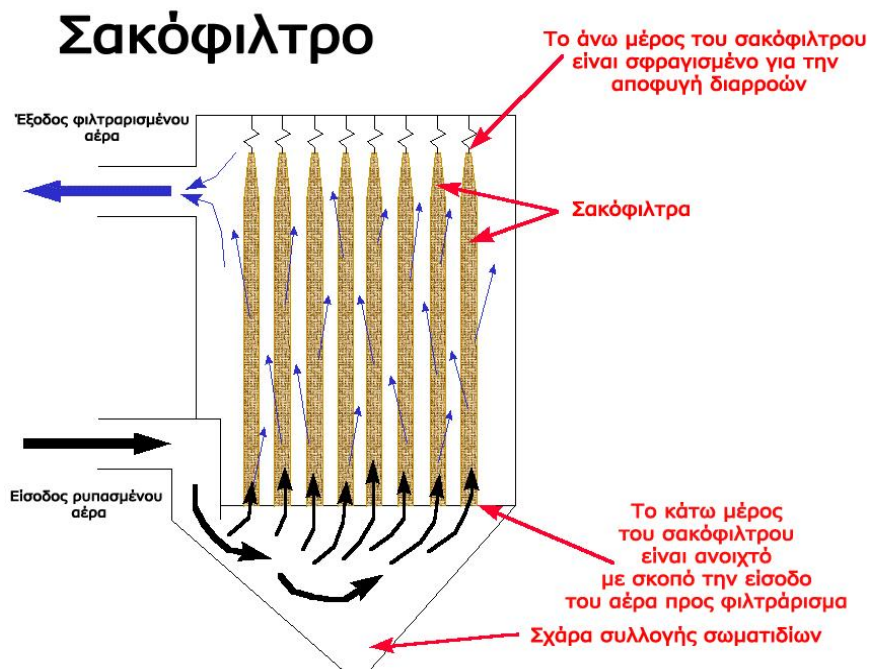


**Εικόνα 2: Ποιοτική αναπαράσταση αρχής λειτουργίας ηλεκτροστατικού φίλτρου**

Άλλος τρόπος φιλτραρίσματος βιομηχανικών εκπομπών είναι τα σακόφιλτρα. Κατά την λειτουργία τους ο φορτισμένος με σωματίδια αέρας περνάει από τις ίνες που είναι κατασκευασμένο το σακόφιλτρο με αποτέλεσμα την κατακράτηση των



σωματιδίων. Λόγω των ολοένα και αυστηρότερων οδηγιών για τις εκπομπές ρύπων δεν αποκλείεται τα παραπάνω συστήματα να λειτουργούν εν σειρά.



**Εικόνα 3: Αναπαράσταση σακόφιλτρου**

Σημαντική μείωση των εκπομπών είχε και η αναβάθμιση των τρόπων μεταφοράς του φυσικού αερίου, το οποίο αντικατέστησε σε μεγάλο βαθμό την κατανάλωση των πιο βρώμικων, από το θέμα εκπομπών ρύπων, πετρέλαιο και κάρβουνο.

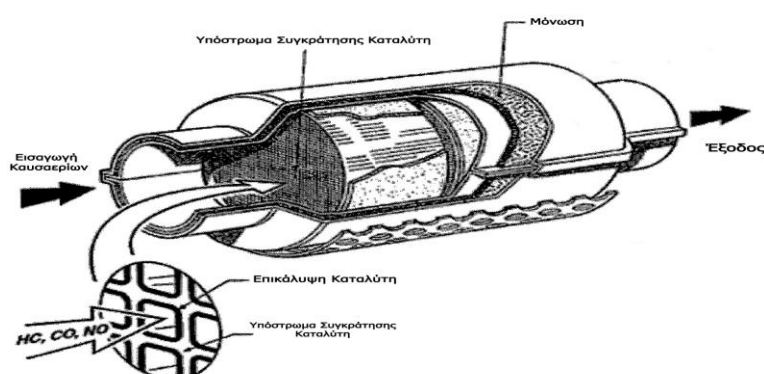
Σοβαρά μέτρα κατά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης πάρθηκαν με αφορμή το επεισόδιο καπνομίχλης του 1952 στο Λονδίνο κατά τη διάρκεια του οποίου περίπου 12.000 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους, και περίπου 8.000 τους μήνες που ακολούθησαν. Η μεγάλη ανησυχία του κοινού, μετά το επεισόδιο, οδήγησε το Αγγλικό Κοινοβούλιο στη δημιουργία του Clean Air Act το 1956, το οποίο παρέμεινε σε ισχύ έως το 1964.



**Εικόνα 4: Φωτογραφία του Λονδίνου κατά τη διάρκεια του επεισοδίου καπνομίχλης το 1952**

Ο νόμος Clean Air Act έθετε μια σειρά περιορισμών όσων αφορά την χρήση καυσίμων που παράγουν καπνό. Με την εισαγωγή καθαρότερων καυσίμων της οικίας, της ο ηλεκτρισμός και το φυσικό αέριο, κατάφερε να περιορίσει τα επίπεδα καπνομίχλης και διοξειδίου του θείου ( $\text{SO}_2$ ) από τα νοικοκυριά. Της λόγω του νόμου, μονάδες παραγωγής ενέργειας μεταφέρθηκαν μακριά από της πόλεις.

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι δεν υπήρχε καμία σχεδόν πρόβλεψη για της εκπομπές που προέρχονταν από την αυτοκίνηση. Με αφορμή τα γεγονότα αιθαλομίχλης της δεκαετίας του 1950 στο Λος Άντζελες, ο Γάλλος Μηχανολόγος Μηχανικός Γιουτζίν Χάουντρι (Eugene Houdry) κατασκεύασε τον πρώτο καταλυτικό μετατροπέα για χρήση σε Ι.Χ. αυτοκίνητα με κινητήρες βενζίνης. Παρόλα αυτά, η ευρεία χρήση της ήρθε την δεκαετία του 1970 και από το 1990, και μετά την κατάργηση του μολύβδου ως πρόσθετο στα καύσιμα, όλα τα αυτοκίνητα που βγαίνουν από της γραμμές παραγωγής είναι εφοδιασμένα με καταλυτικούς μετατροπείς.



**Εικόνα 5: Ποιοτική αναπαράσταση σύγχρονου καταλυτικού μετατροπέα**



*Εικόνα 6: Απεικόνιση εργοστασίου παραγωγής ρεύματος της ΔΕΗ στην ευρύτερη περιοχή του νομού Κοζάνης*

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είχε αρχίσει να έχει παγκόσμιες και ολόένα αυξανόμενες συνέπειες στον πλανήτη. Ως αποτέλεσμα του παραπάνω οι πρώτες διεθνείς προσπάθειες για την μείωση της παγκόσμιας ρύπανσης έγιναν από της αρχές του 1990.

- Το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ

Το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ αφορούσε στοιχεία τα οποία καταστρέφουν την στοιβάδα του όζοντος. Με την παρούσα συνθήκη τα κράτη – μέλη τα οποία την επικυρώνουν συμφωνούν, αμοιβαίως, για την μείωση και τη σταδιακή κατάργηση διαφόρων στοιχείων τα οποία είναι υπεύθυνα για την καταστροφή του όζοντος. Αξίζει να αναφερθεί ότι της οι ενώσεις οι οποίες καταστρέφουν το όζον περιέχουν είτε χλώριο είτε βρώμιο.

Το πρωτόκολλο έχει υπογραφεί από 197 συνολικά χώρες και την Ευρωπαϊκή Ένωση και τέθηκε σε ισχύ το 1987.

Όσον αφορά τους χλωροφθοράνθρακες το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ προβλέπει τρία βήματα :

1. Από το 1991 έως το 1992 : τα επίπεδα παραγωγής και κατανάλωσης των χλωροφθορανθράκων του πίνακα 1 δεν πρέπει να ξεπερνούν κατά 150% των αντίστοιχων επιπέδων του 1986
2. Από το 1994 τα επίπεδα παραγωγής και κατανάλωσης των χλωροφθορανθράκων του πίνακα 1 δεν πρέπει να ξεπερνούν στο 25% των αντίστοιχων επιπέδων του 1986
3. Από το 1996 τα επίπεδα παραγωγής χλωροφθορανθράκων του πίνακα 1 δεν πρέπει να ξεπερνούν το μηδέν

**Πίνακας 1 : Χλωροφθοράνθρακες των οποίων η χρήση ρυθμίζεται με βάση το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ**

Χημικός τύπος	Εμπορική Ονομασία	Παρατηρήσεις
CfCl <sub>3</sub>	CFC – 11	Έχει το μεγαλύτερο δυναμικό καταστροφής όζοντος
Cf <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	CFC – 12	Χρησιμοποιήθηκε ευρέως ως ψυκτικό και ως προωθητικό στην φαρμακοβιομηχανία
C <sub>2</sub> F <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub>	CFC – 113	Το 1988 αποτελούσε το 17% των συνολικά παραγόμενων χλωροφθορανθράκων
C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	CFC – 114	Χρησιμοποιείται ακόμη από το Ναυτικό των ΗΠΑ ως μέσο ψύξης
C <sub>2</sub> F <sub>5</sub> Cl	CFC – 115	Η παραγωγή του σταμάτησε το 1995 ως κομμάτι της εφαρμογής του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ

- Η Σύμβαση της Στοκχόλμης

Η σύμβαση της Στοκχόλμης η οποία θέτει ως άμεσο στόχο αρχικά τον περιορισμό και εν κατακλείδι την λήξη παραγωγής και χρήσης των 12 πλέον μολυσματικών POPs. Τέθηκε σε ισχύ το 2005 με την αρχική συμμετοχή πάνω από 90 χωρών. Θέτει πέντε κύριες στόχους:

1. Την εξάλειψη των επικίνδυνων POPs ξεκινώντας από της 12 πλέον μολυσματικούς
2. Υποστήριξη της μετάβασης σε λιγότερο μολυσματικές εναλλακτικές ενώσεις
3. Καθορισμός και αξιολόγηση των υπόλοιπων POPs
4. Τον καθαρισμό παλαιών αποθηκών και εξοπλισμού που χρησιμοποιούσαν POPs
5. Την οργάνωση των κρατών με σκοπό την εξάλειψη χρήσης POPs

Περιστατικά με επιπτώσεις παγκόσμιας κλίμακας συνέβησαν και στο πρόσφατο παρελθόν. Η έκρηξη του ηφαιστείου στην Ισλανδία το 2010 είχε τεράστιες παγκόσμιες επιπτώσεις. Λόγω των τεράστιων ποσοτήτων ενέργειας που εκλύθηκαν η θερμοκρασία των νερών ποταμού που βρίσκονταν μερικά χιλιόμετρα μακρύτερα αυξήθηκε κατά 6 βαθμούς Κελσίου σε λιγότερο από 2 ώρες. Η ιπτάμενη τέφρα που κατακάθισε σε κοντινές περιοχές είχε αρνητικές επιπτώσεις στην γεωργία. Το πρόβλημα της δεν σταμάτησε εκεί καθώς λόγω το μεγέθους της έκρηξης το σύννεφο της ιπτάμενης τέφρας είχε τεράστιο αρνητικό αντίκτυπο σχεδόν σε όλη την Ευρώπη, καθιστώντας αδύνατες της πτήσεις.

Ο σεισμός ο οποίος προκάλεσε ζημιά της αντιδραστήρες του ιαπωνικού χωριού Φουκουσίμα το 2011, είναι το πλέον πρόσφατο περιστατικό παγκόσμιας μόλυνσης. Αυξημένα επίπεδα ραδιενέργειας παρουσιάστηκαν σχεδόν αμέσως σε απόσταση 100 χιλιομέτρων από την περιοχή του αντιδραστήρα.

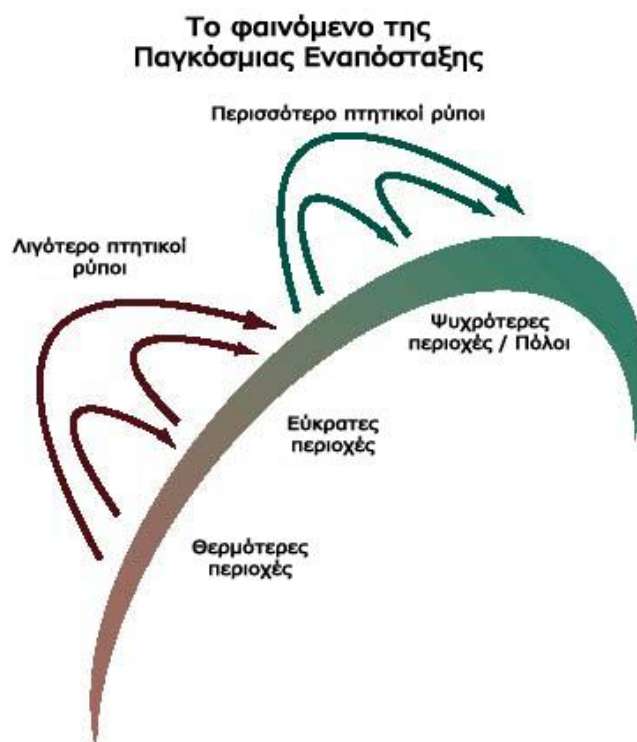
### **3. Παγκόσμια απόσταση και εναπόθεση**

Είναι το φαινόμενο κατά το οποίο συγκεκριμένες ενώσεις μεταφέρονται από της θερμότερες της ψυχρότερες περιοχές της Γης, κυρίως της υψηλής βουνοκορφές καθώς και της πόλους. Το φαινόμενο της παγκόσμιας απόσταξης είναι ευθέως ανάλογο με αυτό της απλής απόσταξης. Ονομάζεται της και “grasshopper effect”.

Κατά την θέρμανση μιας ένωσης, λόγω υψηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αυτή εξατμίζεται και στη συνέχεια μεταφέρεται σε περιοχές ψυχρότερες όπου συμπυκνώνεται και εναποτίθεται. Το αποτέλεσμα είναι η μεταφορά μέσω της ατμόσφαιρας ενώσεων από υψηλά υψόμετρα και γεωγραφικά πλάτη σε χαμηλότερα. Στα ψυχρά κλίματα οι αντιδράσεις φυσικής αποσύνθεσης επιβραδύνονται με άμεση συνέπεια οι POPs να παραμένουν στο περιβάλλον για περισσότερο διάστημα. Της οι χαμηλές θερμοκρασίες επιβραδύνουν την εξάτμιση των POPs από το νερό και ευνοείται η συμπύκνωσή της από την ατμόσφαιρα σε διάφορες επιφάνειες (έδαφος κτλ).

Τα δύο αυτά φαινόμενα λειτουργούν αθροιστικά και η ύπαρξη της εξηγεί της μεγάλες συγκεντρώσεις POPs σε ζώνες του Αρκτικού κύκλου καθώς και υψηλών υψομέτρων, περιοχές της οποίες γίνεται περιορισμένη, αν όχι καθόλου, χρήση αυτών των ενώσεων.

Το αξιοσημείωτο στην περίπτωση της παγκόσμιας απόσταξης είναι η σχετική αδράνεια που επιδεικνύει το φαινόμενο σε σχέση με την αύξηση των συγκεντρώσεων. Δηλαδή η έκλυση κάποιων POPs είναι πιθανό να γίνει στιγμιαία, για παράδειγμα η εφαρμογή μικροβιοκτόνου. Η εξάτμιση κάποιου ποσοστού της ουσίας θα διαρκέσει για αρκετό καιρό. Η μετακίνηση της θα διαρκέσει ακόμα περισσότερο και μέχρι να εναποτεθεί δεν θα υπάρχει ένδειξη αυξημένης συγκέντρωσης.



*Εικόνα 6: Ποιοτική αναπαράσταση του φαινομένου της παγκόσμιας απόσταξης γνωστού ως Grasshopper Effect*

#### 4. Οργανικοί Ρύποι

Οι παραμένοντες οργανικοί ρύποι (Persistent Organic Pollutants – POPs) είναι ενώσεις με την ιδιότητα να αντιστέκονται στην περιβαλλοντική, χημική και βιολογική τους αποικοδόμηση.

Λόγω της αντίστασής τους στην αποικοδόμηση μπορούν και βιοσυσσωρεύονται στον ανθρώπινο και ζωικό ιστό και έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην αναπαραγωγή, την ανάπτυξη καθώς και την λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος.



Μερικές από τις χημικές τους ιδιότητες είναι η χαμηλή διαλυτότητά τους στο νερό, το μεγάλο τους μοριακό βάρος και η πτητικότητα. POPs με μοριακή μάζα μικρότερη από 236g/mol χαρακτηρίζονται ως λιγότερο τοξικά και με μικρότερες αντιστάσεις στην αποικοδόμηση από ότι αντίστοιχα POPs με μεγάλη μοριακή μάζα.

Λόγω της σταθερότητάς τους μπορούν και μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις από την αρχική πηγή εκπομπής τους. Πολλοί POPs είναι πτητικοί και αδιάλυτοι. Παρόλα αυτά υπάρχουν POPs οι οποίοι δεν είναι πτητικοί. Οι δεύτεροι μπορούν και προσκολλώνται σε αέρια σωματίδια και μεταφέρονται με άλλες οδούς όπως για παράδειγμα η τροφική αλυσίδα. Η πτητικότητα ορισμένων POPs εξηγεί το φαινόμενο κατά το οποίο έχουν καταγραφεί σημαντικές συγκεντρώσεις τους σε απομακρυσμένα μέρη όπως η Ανταρκτική ή ακόμα και στους ωκεανούς, μέρη στα οποία δεν υπάρχουν καταγεγραμμένες μεγάλες ποσότητες έκλυσής τους. Αυτό επίσης εξηγεί το γεγονός ότι χώρες οι οποίες έχουν απαγορεύσει την χρήση POPs (όπως για παράδειγμα στα διάφορα φυτοφάρμακα) δεν έχουν παρατηρήσει μείωση των συγκεντρώσεών τους.

Οι κύριες χρήσεις των POPs είναι τα φυτοφάρμακα, οι διαλύτες, τα πολυβινυλοχλωρίδια καθώς και διάφορα άλλα φαρμακευτικά προϊόντα.

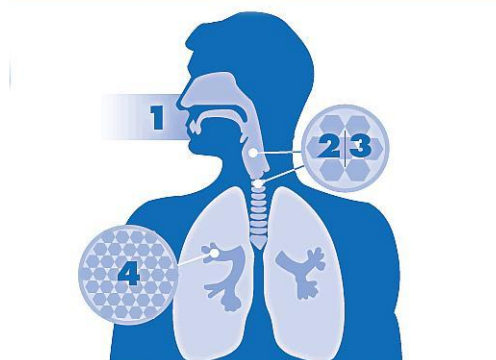
Από το 1995 το United Nations Environment Programme Governing Council (GC) άρχισε να ερευνά τις επιπτώσεις 12 χημικών όπως την αλδρίνη (aldrin), το χλωρντάν (chlordane), το DDT (δι-χλωρο δι-φαινυλο τριχλωρό-αιθάνιο), τη διελδρίνη (dieldrin), την ενδρίνη (endrin), το επταχλώριο (eptachlor), το εξαχλωροβενζόλιο, το μίρεξ (mirex), το πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PolychlorinatedBiphenyls – PCBs), τις πολυχλωριωμένες διβενζο – p – διοξίνες, τα πολυχλωριωμένα διβενζοφουράνια και το τοξαφέν (toxaphene).

Από τότε στην παραπάνω λίστα έχουν προστεθεί οι καρκινογόνοι Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ) και διάφορα βρωμιωμένα επιβραδυντικά καύσης.

#### **4.1 Αιωρούμενα σωματίδια**

Με τον όρο αιωρούμενα σωματίδια (particulate matter) εννοούμε κάθε σώμα (στερεό) ή υγρό με διάμετρο από 0.002μm μέχρι και 500μm. Ως αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να θεωρηθούν η σκόνη, ο καπνός, η αιθάλη και η κάπνα.

### Πως τα αιωρούμενα σωματίδια εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό



1. Τα αιωρούμενα σωματίδια εισέρχονται στον οργανισμό μέσω της ρινικής οδού και του λαιμού με την αναπνοή
2. Η είσοδος στο σώμα των μεγαλύτερων σωματιδίων (PM10) εμποδίζεται μέσω της κατάποσης του φτερνίσματος και του βήχα
3. Τα αιωρούμενα σωματίδια μικρότερης διαμέτρου (PM2.5) εισέρχονται βαθιά μέσα στους πνεύμονες. Μπορούν να φτάσουν μέχρι και τις κυψελίδες των πνευμόνων προκαλώντας αναπνευστικά και καρδιακά προβλήματα, και να απελευθερώσουν βλαβερές χημικές ουσίες στην κυκλοφορία του αίματος

**Εικόνα 7: Απεικόνιση εισόδου αιωρούμενων σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό**

Η σύσταση των πρωτογενών αιωρούμενων σωματιδίων εξαρτάται κυρίως από την πηγή της προέλευσής τους.

Οι διάφοροι τύποι αερόφερτων κόνεων τείνουν να περιέχουν κυρίως μεταλλικά οξείδια τα οποία προέρχονται από τον φλοιό της Γης. Τα αιωρούμενα σωματίδια τα οποία προέρχονται από την θάλασσα αποτελούνται κυρίως από χλωριούχο νάτριο.

Μετά την δημιουργία των πρωτογενών σωματιδίων και κατά την διάρκεια παραμονής τους στην ατμόσφαιρα πολλά από αυτά λαμβάνουν μέρος σε χημικές αντιδράσεις δημιουργώντας τα λεγόμενα δευτερογενή σωματίδια.

Για παράδειγμα η οργανική ύλη μπορεί να έχει πρωτογενή ή δευτερογενή προέλευση. Συνήθως η δευτερογενής οργανική ύλη προκύπτει από την οξειδωση διαφόρων Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (VOC).

Η οργανική ύλη επηρεάζεται από την ηλιακή ακτινοβολία είτε με τη σκέδαση της είτε με την απορρόφησή της.

Τα αεροζόλ είναι κολλοειδή εναιωρήματα υπομικρών στερεών σωματιδίων ή υγρών τα οποία βρίσκονται διαλυμένα σε ένα αέριο.

Οι διάφοροι τύποι αεροζόλ κατατάσσονται ως:

- Ανόργανα υλικά : σκόνη, καπνός, θαλάσσια άλατα, σταγόνες νερού
- Οργανικά υλικά : γύρη, σπόροι, βακτήρια



- Ανθρωπογενής προέλευσης : παράγωγα καύσης όπως καπνοί στάχτες και άλλοι τύποι κόνεως

Η πλέον κοινή μορφή αεροζόλ είναι τα σύννεφα τα οποία αποτελούνται ως επί το πλείστον από σταγονίδια νερού ή πάγου διαφόρων πυκνοτήτων.

#### **4.2 Οι Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες**

Οι Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ) αποτελούν ξεχωριστή κατηγορία ρύπων λόγω των ισχυρών καρκινογόνων και μεταλλαξιογόνων ιδιοτήτων τους.

Οι ΠΑΥ είναι οργανικές ενώσεις αποτελούμενες από ενωμένους αρωματικούς δακτυλίους στο μόριό τους.

Διακρίνονται σε ΠΑΥ με χαμηλό μοριακό βάρος (φλουρένιο, φαινανθρένιο, ναφθαλένιο και ανθρακένιο) και σε ΠΑΥ με υψηλό μοριακό βάρος (βένζο-α-πυρένιο, χρυσένιο).

Το πρώτο χημικό στοιχείο το οποίο συνδέθηκε με καρκινογένεση είναι το βενζο-α-πυρένιο (BaP) το οποίο βρίσκεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στον καπνό του τσιγάρου, παρόλο που η σύνδεση της καρκινογένεσης με διάφορες πηγές έκλυσής του είναι δύσκολη.

Μακροχρόνια έκθεση σε ΠΑΥ προκαλεί επίσης διάφορες ασθένειες όπως χαμηλό IQ και άσθμα.

Είναι λιποφιλικές ενώσεις, δηλαδή είναι πιο εύκολα διαλυτές στα έλαια παρά στο νερό. Οι μεγαλύτερες ενώσεις είναι λιγότερο υδατοδιαλυτές και λιγότερο πτητικές. Λόγω των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών απαντώνται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στο έδαφος παρά στον αέρα ή το νερό. Μεγάλες συγκεντρώσεις ΠΑΥ βρίσκονται συνήθως στα ορυκτά καύσιμα όπως η λιθανθρακόπισσα.

Πέρα από τις συγκεντρώσεις τους στον φλοιό της Γης και τα ορυκτά καύσιμα οι ΠΑΥ προκύπτουν και σαν παράγωγα της ατελούς καύσης καυσίμων όπως ξύλα, κάρβουνο, πετρέλαιο, λίπος και φύλλα καπνού. Η σύσταση και η συγκέντρωση των ΠΑΥ είναι διαφορετική ανάλογα με τις συνθήκες καύσης και το χρησιμοποιούμενο καύσιμο.

Παρόλο που οι επιπτώσεις δεν είναι για όλες τις ενώσεις ίδιες, οι παρακάτω 18 από αυτές έχουν χαρακτηριστεί από την Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) ως καρκινογόνες :

1. Ακεναπτυλένιο
2. Ανθρακένιο
3. Βενζο-α-ανθρακένιο
4. Βενζο-α-πυρένιο
5. Βένζο-ε-πυρένιο
6. Βενζο-β-φλουορανθένιο
7. Ακεναφθένιο
8. Βένζο-ghi-περυλένιο
9. Βένζο-ι-φλουορανθένιο
10. Βένζο-κ-φλουορανθένιο
11. Χρυσένιο
12. Κορωνένιο
13. Διβενζο-α,h-ανθρακένιο
14. Φλουορανθένιο
15. Φλουορένιο
16. Indeno(1,2,3-cd)pyrene
17. Φενανθρένιο
18. Πυρένιο

#### 4.3 Ιόντα

Ως ιόν χαρακτηρίζεται ένα άτομο ή στοιχείο του οποίου ο αριθμός ηλεκτρονίων δεν είναι ίσος με τον αριθμό των πρωτονίων, δίνοντας στο άτομο ή στοιχείο θετικό ή αρνητικό φορτίο. Αν το άτομο χάσει ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια τότε αποκτά θετικό φορτίο και ονομάζεται ανιόν. Αντιστρόφως αν αποκτήσει ένα ή παραπάνω ηλεκτρόνια από τον αριθμό των πρωτονίων του τότε αποκτά αρνητικό φορτίο και ονομάζεται κατιόν. Τα ιόντα μπορούν να δημιουργηθούν είτε με χημικές είτε με φυσικές μεθόδους.

- Ιόν Χλωρίου (Cl<sup>-</sup>) : Το χλώριο είναι ένα από τα αλογόνα της ομάδας 17 του περιοδικού πίνακα στοιχείων. Είναι το 21<sup>ο</sup> κατά σειρά στοιχείο το οποίο βρίσκεται σε περίσσεια στον Φλοιό της Γης. Χρησιμοποιείται από τον

άνθρωπο ως λευκαντικό με απολυμαντικές ιδιότητες και έχει πλειάδα εφαρμογών στην βιομηχανία. Χρησιμοποιείται εκτενώς στην βιομηχανία παραγωγής πλαστικών, σε διάφορα φαρμακευτικά προϊόντα, γεωργικά ζιζανιοκτόνα και άλλα. Στα νοικοκυριά βρίσκεται κυρίως σε καθαριστικά προϊόντα και σε βαφές. Το 63% των προϊόντων που χρησιμοποιούν χλώριο αφορά οργανικές και το 18% ανόργανες ενώσεις. Το εναπομείναν 19% χρησιμοποιείται ως απολυμαντικό και λευκαντικό. Προέρχεται από τον καπνό του τσιγάρου, τα προϊόντα καθαριότητας (Charpantidou et al. 2005), τη θάλασσα (Bardouki et al. 2003, Wang et al. 2006, Moon et al. 2008), τη σκόνη (Bardouki et al. 2003), τη δημοτική αποτέφρωση (Moon et al. 2008), τις βιομηχανικές εκπομπές (Wang et al. 2006) και την καύση άνθρακα (Wang et al. 2006, Wang et al. 2009). Κατά την εισπνοή του έχει την τάση να ερεθίζει το αναπνευστικό σύστημα. Ανάλογα με την συγκέντρωσή του στον περιβάλλον αέρα μπορεί να προκαλέσει από απλούς ερεθισμούς στο αναπνευστικό και στα μάτια μέχρι και τον θάνατο.

- Νιτρικό Άλας( $\text{NO}_3^-$ ) : Σχεδόν όλα τα νιτρικά ιόντα είναι διαλυτά στο νερό σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Χρησιμοποιούνται κυρίως ως λιπάσματα στην γεωργία λόγω της μεγάλης διαλυτότητας και βιοδιασπασιμότητας που επιδεικνύουν. Άλλη χρήση τους είναι σαν οξειδωτικοί παράγοντες κυρίως σε εκρηκτικές ύλες. Επίσης τηγμένα νιτρικά με άλατα έχουν την ιδιότητα σκλήρυνσης μεταλλικών υλικών. Σε θαλάσσια οικοσυστήματα που βρίσκονται κοντά σε γεωργικές εκτάσεις ή στις εκβολές ποταμών η συγκέντρωση των νιτρικών μπορεί να είναι ιδιαίτερα αυξημένη και να προκαλέσει τον θάνατο ψαριών είτε άμεσα λόγω τοξικότητας είτε έμμεσα λόγω του φαινομένου του ευτροφισμού. Τα νιτρικά είναι επίσης υποπροϊόντα βιοδιάσπασης οργανικών αποβλήτων. Σχηματίζονται σε μεγάλες ποσότητες σε σηπτικές δεξαμενές λημμάτων (βόθρους). Καθώς τα νιτρικά απορροφώνται από τους φυτικούς οργανισμούς μεγάλες συγκεντρώσεις τους μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα ακόμα και σε φάρμες βοοειδών. Προέρχεται από την κυκλοφορία οχημάτων (Han et al. 2008, Zhanhg et al. 2010, Khan et al. 2010), τη σκόνη του δρόμου (Zhanhg et al. 2010, Khan et al. 2010), την ανοιχτή καύση, τις πυρκαγιές και το αλάτι της θάλασσας (Zhanhg et al. 2010).

- Θειικά άλατα ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) :Πολλές ενώσεις θειικών αλάτων είναι διαλυτές στο νερό. Έχουν πληθώρα εφαρμογών όπως στις μπαταρίες μολύβδου οξέος, στην φαρμακοβιομηχανία και σαν αλγοκτόνα με την μορφή του θειικού χαλκού. Έχουν πολύπλευρες επιπτώσεις στο περιβάλλον με κυριότερη την αύξηση της ανακλαστικότητας της ατμόσφαιρας στο ηλιακό φως. Επίσης λαμβάνουν μέρος στο Twomey effect το οποίο εξηγεί το πώς η ανθρωπογενής μόλυνση πιθανώς να αυξάνει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας το οποίο αντανακλάται από τα σύννεφα. Μαζί με το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ) και τα οξειδία του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) συμμετέχουν ενεργά στην δημιουργία του φαινομένου της όξινης βροχής.Οι αέριες εκπομπές του προέρχονται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων και βιομάζας. Έχει θαλάσσιες πηγές (Wang et al. 2006, Han et al. 2008, Moon et al. 2008, Khan et al. 2010, Zhanhg et Ying 2010) και μη-θαλάσσιες πηγές. Η θάλασσα είναι μία από τις κυριότερες φυσικές πηγές του (Han et al. 2008). Προέρχεται επίσης από οχήματα με βενζίνη και diesel (Moon et al. 2008, Saraga et al. 2010, Zhanhg et Ying 2010), από τη καύση άνθρακα (Wang et al 2006, Moon et al. 2008 Wang et al. 2009, Khan et al. 2010, Zhanhg et Ying 2010), από την καύση σπέρτων, ξύλου (Jones et al. 2000, Charpantidou et al. 2005), τη δημοτική αποτέφρωση (Moon et al. 2008), τα πετροχημικά εργοστάσια (Han et al. 2008), τις πυρκαγιές, την ανοιχτή καύση, τη σκόνη του δρόμου (Zhanhg et Ying 2010) και την καύση πετρελαίου και βιομάζας (Charpantidou et al. 2005, Moon et al. 2008).
- Ιόν Ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) : Προέρχεται από τη θάλασσα (Bardouki et al. 2003, Tsitouridou et al. 2003), και τη σκόνη (Bardouki et al. 2003, Tsitouridou et al. 2003, Charpantidou et al. 2005, Khan et al. 2010).
- Ιόν Μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ) :Είναι το στοιχείο με χημικό τύπο  $\text{Mg}^{2+}$ . Δεν συναντάται σε ελεύθερη μορφή διότι αντιδρά απευθείας με το οξυγόνο. Λόγω της μεγάλης διαλυτότητάς του στο νερό είναι το τρίτο σε περίσσεια στοιχείο στο θαλασσινό νερό. Προέρχεται από τη θάλασσα (Bardouki et al. 2003, Tsitouridou et al. 2003) και τη σκόνη (Bardouki et al. 2003, Tsitouridou et al. 2003, Khanetal. 2010).
- Ιόν Αμμωνίου ( $\text{NH}_4^+$ ): Είναι ένα φορτισμένο πολυατομικό ιόν με χημικό τύπο  $\text{NH}_4^+$ . Προέρχεται από τα οχήματα με βενζίνη και diesel (Moon et al. 2008, Zhanhg et Ying 2010). Η μεγαλύτερη συνεισφορά στην αμμωνία προέρχεται

από τα καταλυτικά οχήματα με βενζίνη (Zhanhg et Ying 2010). Επίσης το  $\text{NH}_4^+$  προέρχεται από γεωργικές διαδικασίες π.χ. χρήση λιπασμάτων (Wang et al. 2006, Zhanhg et Ying 2010), βιομηχανικές δραστηριότητες (Wang et al. 2006), πυρκαγιές (Zhanhg et Ying 2010) και καύση βιομάζας (Kong et al. 2010).

- **Ιόν Καλίου ( $\text{K}^+$ ):** Είναι το στοιχείο με χημικό τύπο  $\text{K}^+$ . Προέρχεται από τον καπνό του τσιγάρου, την καύση υλικών φυτικής προέλευσης π.χ. ξύλο, κάρβουνο (Charpantidou et al. 2005), την καύση βιομάζας π.χ. γεωργικά υπολείμματα (Wang et al. 2009) και την καύση - αποτέφρωση (Khan et al. 2010). Επίσης προέρχεται από τη θάλασσα (Bardouki et al. 2003) και χρησιμοποιείται σαν ίχνος για τα θαλάσσια αερολύματα (Kong et al. 2010).
- **Ιόν Νατρίου ( $\text{Na}^+$ ):** Είναι το στοιχείο με χημικό τύπο  $\text{Na}^+$ . Προέρχεται κυρίως από τη θάλασσα (Bardouki et al. 2003, Chen et al. 2005, Kong et al. 2010). Χρησιμοποιείται σαν ιχνηθέτης για τα θαλάσσια αεροζόλ (Kong et al. 2010).

#### **4.4 Μέταλλα**

Ως μέταλλο ορίζεται ένα στοιχείο, μία ένωση ή ένα κράμα το οποίο είναι καλός αγωγός τόσο της θερμότητας όσο και του ηλεκτρισμού. Συνήθως είναι ελατά και όλκιμα.

Τα μεταλλικά υλικά είναι ανόργανες ουσίες, αποτελούμενες από ένα ή περισσότερα μεταλλικά στοιχεία, που είναι δυνατόν να περιέχουν προσμίξεις μετάλλων. Ο κύριος ορισμός των μετάλλων σχετίζεται με τις φυσικές, χημικές και μηχανικές ιδιότητες των μεταλλικών σωμάτων σε στερεά κατάσταση. Έτσι, τα μεταλλικά σώματα, ή τα σώματα που έχουν μεταλλικό χαρακτήρα, παρουσιάζουν ομοιότητα επί τη βάση των περισσότερων ιδιοτήτων τους, όπως το υψηλό ειδικό βάρος, η αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης με τη θερμοκρασία, η μεγάλη ηλεκτρική αγωγιμότητα, η μεταλλική λάμψη, η υψηλή μηχανική αντοχή και πλαστικότητα κ.τ.λ..

- **Μόλυβδος (Pb) :** Προέρχεται από φθορά ελαστικών οχημάτων, καύσιμα με μόλυβδο, μη καταλυτικά οχήματα.
- **Νικέλιο (Ni) :** Προέρχεται από μεταλλουργικές και βιομηχανικές δραστηριότητες καθώς επίσης και από την καύση πετρελαίου

- Χαλκός (Cu) : Προέρχεται από τους καταλύτες των Ι.Χ., από την επαναιώρηση της σκόνης, καθώς και από μεταλλουργικές και βιομηχανικές δραστηριότητες
- Βανάδιο (V) : Προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων στα Ι.Χ. αυτοκίνητα (βενζίνη καθώς και LPGαέριο) όπως επίσης και από την οικιακή καύση πετρελαίου
- Χρώμιο (Cr) : Προέρχεται από την επαναιώρηση της σκόνης καθώς και από μεταλλουργικές δραστηριότητες
- Ψευδάργυρος (Zn) : Προέρχεται από την φθορά των ελαστικών των οχημάτων, από τις εκπομπές εξάτμισης καταλυτικών οχημάτων, από τα γαλβανισμένα μέρη θερμαντικών σωμάτων καθώς και από βιομηχανικές δραστηριότητες
- Μαγνήσιο (Mg) : Προέρχεται από την ιπτάμενη τέφρα και από την επαναιώρηση της σκόνης του εδάφους
- Κάλιο (K) : Προέρχεται από ανθρωπογενείς πηγές, από τη χρήση μη καταλυτικών οχημάτων, από επαναιώρηση των στοιχείων του φλοιού της Γης, από την καύση ξύλου σε ξυλόσομπες καθώς και από την καύση βιομάζας
- Τιτάνιο (Ti) : Προέρχεται από την επαναιώρηση της σκόνης που βρίσκεται στον δρόμο και από την ιπτάμενη τέφρα ως προϊόν καύσης
- Σίδηρος (Fe) : Προέρχεται από τον φλοιό της Γης, από τις εκπομπές καταλυτικών οχημάτων, από την κάρβουνου καθώς και την οικιακή καύση ξύλου
- Ασβέστιο (Ca) : Προέρχεται από την επαναιώρηση της σκόνης, από τις κάθε είδους οικοδομικές δραστηριότητες, από την βιομηχανική παραγωγή τσιμέντου, από την καύση λιγνίτη, από την καύση βενζίνης και πετρελαίου στα οχήματα, καθώς και από την οικιακή καύση ξύλου (π.χ. σόμπες)
- Αλουμίνιο (Al) : Προέρχεται από την επαναιώρηση της σκόνης του δρόμου, από τον φλοιό της Γης καθώς και από την καύση κάρβουνου

#### 4.5 Οργανικός, Στοιχειακός Άνθρακας

Το έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον για το ανθρακούχο υλικό της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης οφείλεται στο γεγονός ότι αποτελεί ένα μεγάλο ποσοστό της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων. Το ανθρακικό κλάσμα της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης αποτελείται από τον οργανικό άνθρακα (organic carbon, OC) και το στοιχειακό (elemental carbon, EC).

Ο στοιχειακός άνθρακας (EC) έχει δομή παρόμοια με το μη καθαρό γραφίτη. Απορροφά ισχυρά την ορατή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να μειώνει την ορατότητα. Ταυτόχρονα επηρεάζει σημαντικά το κλίμα. Επιπλέον, παίζει σημαντικό ρόλο στη διαδικασία σχηματισμού δευτερογενούς αερολύματος στην ατμόσφαιρα. Οι ιδιότητες του EC εξαρτώνται από τις πηγές εκπομπής και την ηλικία του ατμοσφαιρικού αεροζόλ. Ο EC θεωρείται πρωτογενής ρύπος διότι δεν υφίσταται καμία μετατροπή στην ατμόσφαιρα. Θεωρείται ως κατάλληλος δείκτης της επίδρασης του ανθρώπινου παράγοντα στην ποιότητα της ατμόσφαιρας.

Ο EC είναι πρωτογενής ρύπος και εκλύεται κατά την ατελή καύση ορυκτών καυσίμων, υγρών ή και στερεών καθώς και κατά την καύση βιολογικού υλικού (πυρόλυση). Σημαντικές πηγές εκπομπής EC στην ατμόσφαιρα είναι οι μονάδες καύσης άνθρακα και πετρελαίου, τα πάσης φύσεως οχήματα που χρησιμοποιούν είτε βενζίνη είτε πετρέλαιο (diesel), καθώς και οι δασικές και γεωργικές πυρκαγιές.

Τα οχήματα με diesel είναι η κυρίαρχη πηγή του EC (Wang et al. 2006). Επίσης ο άνθρακας και το πετρέλαιο είναι, κατά την καύση τους, καύσιμα υψηλής εκπομπής EC (Lonati et al. 2007).

Ο EC, μιας και εκπέμπεται κυρίως πρωτογενώς, συχνά χρησιμοποιείται σαν ιχνηθέτης πρωτογενούς OC στην αξιολόγηση των SOC (Secondary Organic Carbon) συγκεντρώσεων (Viana et al. 2005, Lonati et al., 2005, 2007, Kong et al. 2010).

Ο οργανικός άνθρακας (OC) μπορεί να εκπνευθεί απευθείας στην ατμόσφαιρα ως πρωτογενής ρύπος ή να σχηματισθεί ως δευτερογενές αερόλυμα. Ο OC περιέχει PAHs και άλλα συστατικά, με πιθανές καρκινογόνες ιδιότητες/δράσεις (Ho et al. 2004, Wang et al. 2006). Επίσης, ο OC βρίσκεται ενωμένος κυρίως στα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 2,5μm, τα οποία είναι ικανά να διεισδύουν στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα.

Ο OC έχει πρωτογενή (POC, primary organic carbon) και δευτερογενή (SOC, secondary organic carbon) προέλευση. Είτε εκπέμπεται απ' ευθείας από πρωτογενείς πηγές εκπομπής είτε σχηματίζεται δευτερογενώς.

Πρωτογενείς πηγές καύσεις είναι η ατελής καύση οργανικού υλικού, η καύση ξύλου, άνθρακα, πετρελαίου και βιομάζας, η εξάτμιση βενζίνης και πετρελαίου, οι βιομηχανικές διαδικασίες, η αποικοδόμηση υλικών που περιέχουν άνθρακα. Επίσης, οι φυσικές εκπομπές από τους σπόρους, τη γύρη των φυτών, τη βλάστηση και την οργανική ύλη του εδάφους έχουν ως αποτέλεσμα τον πρωτογενή σχηματισμό αδρών σωματιδίων OC (Χρυσικού 2009). Η επαναιώρηση της σκόνης των δρόμων λόγω της κυκλοφορίας των οχημάτων, αυξάνει τη συγκέντρωση του πρωτογενούς OC στη ατμόσφαιρα (Χρυσικού 2009, Φλαρούντζου).

Η καύση βιομάζας αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή παραγωγής πρωτογενούς OC σε παγκόσμια κλίμακα (Χρυσικού 2009).

Δευτερογενώς, ο OC σχηματίζεται από τη συμπύκνωση και την πυρήνωση προϊόντων χαμηλής τάσης ατμών που σχηματίζονται από αντιδράσεις φωτοοξειδωσης υδρογονανθράκων (Χρυσικού 2009).

Παράλληλα, ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τη δημιουργία SOC είναι η φωτοχημική δραστηριότητα. Συγκεκριμένα, περισσότερος SOC σχηματίζεται σε περιόδους με μεγαλύτερη φωτοχημική δραστηριότητα (Kwansgam et al. 2004, Minguillon et al. 2008).

Ο ολικός άνθρακας (total carbon, TC) ορίζεται ως το άθροισμα το του EC (ή του BC) με το OC (Wang et al. 2006).

Τα ατμοσφαιρικά σωματίδια άνθρακα εκπέμπονται από περισσότερους από 70 διαφορετικούς τύπους πηγών αέριας ρύπανσης (Na et al. 2004).

Οι συγκεντρώσεις του OC είναι υψηλότερες σε σύγκριση με του EC, ανεξαρτήτως σωματιδιακού μεγέθους (Χρυσικού 2009).

Υψηλές συγκεντρώσεις OC έχουν ανιχνευθεί σε αστικές περιοχές λόγω της εκτεταμένης χρήσης καυσίμων στα πετρελαιοκίνητα και βενζινοκίνητα οχήματα. Γενικά, οι συγκεντρώσεις του EC κυμαίνονται μεταξύ 1,5-20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  στις αστικές περιοχές. Υψηλότερες συγκεντρώσεις OC σε εσωτερικούς χώρους και EC σε εξωτερικούς αναφέρουν πολλοί ερευνητές (Χρυσικού 2009).



Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του OC και του EC την ψυχρή περίοδο αποδίδονται στις αυξημένες εκπομπές από την κυκλοφορία των οχημάτων, στην οικιακή θέρμανση καθώς και στη μικρή απομάκρυνση των αεροζόλ μέσω των διεργασιών της διασποράς και της υγρής απόθεσης (Χρυσικού 2009).

Η προέλευση των σωματιδίων OC και EC μπορεί να εκτιμηθεί ποιοτικά εξετάζοντας τη σχέση μεταξύ των συγκεντρώσεων OC και EC (Kwansgam et al. 2004). Συνήθως εξετάζεται η γραμμική συσχέτιση (Kong et al. 2010).

Αν τα κυρίως κλάσματα του OC και EC προέρχονται από εκπομπές μιας δεσπόζουσας πρωτογενούς πηγής (π.χ. εκπομπές αυτοκινήτων, μαγείρεμα κρέατος), τότε η συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων θα είναι ισχυρή, γιατί οι σχετικοί ρυθμοί εκπομπής του OC και EC θα είναι αναλογικοί (Na et al. 2004). Δηλαδή ισχυρή συσχέτιση ( $R^2$ ) μεταξύ των συγκεντρώσεων OC και EC δείχνει ότι έχουν κοινή προέλευση (Wang et al. 2009, Χρυσικού 2009). Αντίθετα, η ασθενής συσχέτιση συνεπάγεται ότι υπάρχει επίδραση πηγών που δε σχετίζονται με τις τοπικές πρωτογενείς εκπομπές (π.χ. SOA) (Kwansgam et al. 2004).

Ο λόγος του οργανικού προς τον στοιχειακό άνθρακα (OC/EC) χρησιμοποιείται ως δείκτης της προέλευσης του ανθρακικού υλικού των σωματιδίων, καθώς τιμές  $OC/EC > 2$  θεωρείται ότι αποτελούν ένδειξη σχηματισμού δευτερογενούς αερολύματος (SOA) (Ho et al. 2004, Lonati et al. 2005, 2007, Wang et al. 2006, Χρυσικού 2009, Kong et al. 2010), ή  $OC/EC > 1.1$  κατά τους Castro et al., 1999) (Ho et al., 2004).

Παρόλα αυτά, είναι δύσκολο να υποστηριχθεί η ύπαρξη SOC από τις απόλυτες τιμές του λόγου OC/EC και μόνο. Για παράδειγμα σε ένα καθαρό περιβάλλον, οι εκπομπές του EC είναι περιορισμένες, έτσι ο λόγος OC/EC αναμένεται να είναι μεγάλος. Αν ο EC υπάρχει σε χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με αυτά του OC και ταυτόχρονα υπάρχουν σημαντικές τοπικές πηγές (π.χ. καύση ξύλου, μαγείρεμα κρέατος) με μεγαλύτερους ρυθμούς εκπομπής OC και μικρότερους για τον EC, τότε αναμένεται να παρατηρηθούν υψηλότερες τιμές του λόγου OC/EC (Kwansgam et al. 2004).

Στην αντίθετη περίπτωση, που η τιμή του λόγου OC/EC είναι χαμηλή και αυτό οφείλεται στην υψηλή τιμή του EC, τότε ερευνάται η συσχέτιση των συγκεντρώσεων OC και EC. Αν η συσχέτιση είναι μεγάλη, τότε το μεγαλύτερο μέρος του OC

αποδίδεται σε ανθρωπογενείς εκπομπές, στις οποίες οφείλεται και η υψηλή τιμή το EC και όχι στο σχηματισμό δευτερογενούς αεροζόλ (Χρυσικού 2009, Φλαρούντζου).

Σε γενικές γραμμές, για τις περισσότερες αστικές περιοχές, η τιμή του λόγου κυμαίνεται από 1,0 έως 4,0. Ο λόγος OC/EC καθώς και ο ρυθμός εκπομπής τους διαφοροποιούνται ανάλογα με την πηγή εκπομπής και τους μετεωρολογικούς παράγοντες (Χρυσικού 2009).

## **5. Πηγές αιωρούμενων σωματιδίων**

Οι πηγές των αέριων ρύπων μπορεί να είναι είτε ανθρωπογενείς είτε φυσικές. Οι ρύποι κατατάσσονται ως πρωτογενείς ή δευτερογενείς ανάλογα με τον τρόπο που έχουν παραχθεί. Τα πρωτογενή σωματίδια εκπέμπονται άμεσα ενώ τα δευτερογενή είναι σωματίδια τα οποία έχουν υποστεί κάποιον χημικό μετασχηματισμό κατά την διάρκεια της παραμονής τους στην ατμόσφαιρα.

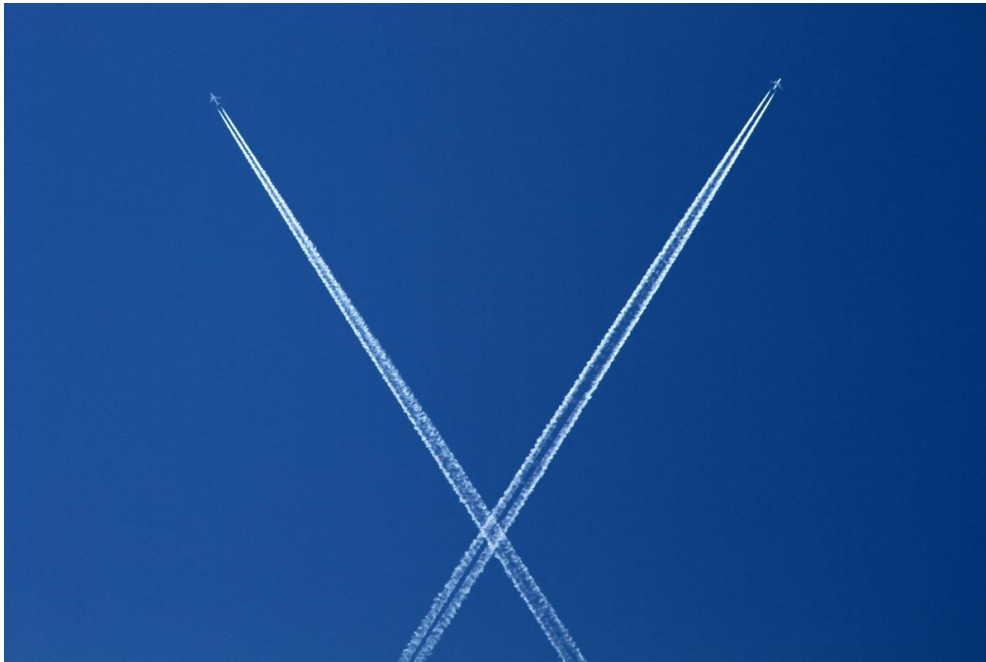
### **5.1 Ανθρωπογενείς πηγές**

#### **5.1.1 Εκπομπές από τις μεταφορές**

Τα μέσα μεταφοράς (αεροπλάνα, πλοία, αυτοκίνητα) κατά την κίνηση και λειτουργία τους είναι πηγές ενός μεγάλου αριθμού αέριων ρύπων. Αέρια σωματίδια εκπέμπονται κυρίως από τις εξατμίσεις των κινητήρων τους, από την τριβή των μηχανικών τους μερών μεταξύ τους καθώς και λόγω της τριβής τους με το οδόστρωμα.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα έκλυσης ρύπων από κινητήρες είναι αυτοί που χρησιμοποιούν ως καύσιμο ντίζελ. Οι ρύποι που εκπέμπουν είναι αρκετές φορές , και ιδιαίτερα σε κακώς συντηρημένους κινητήρες, εύκολο να εντοπιστούν δια γυμνού οφθαλμού. Περιέχουν κυρίως αιθάλη, πτητικές οργανικές ενώσεις καθώς και σωματίδια άνθρακα.

Κατά την κίνησή τους τα οχήματα έρχονται σε επαφή με τον δρόμο, το οποίο επιφέρει την τριβή των ελαστικών, κυρίως, μερών τους με το οδόστρωμα. Η κίνηση των οχημάτων, επίσης, προκαλεί επαναιώρηση της σκόνης του δρόμου.



**Εικόνα 8 :** Τα ίχνη λευκών γραμμών των αεροπλάνων αποτελούνται από τα καυσαέρια των κινητήρων τους



**Εικόνα 9:** Απεικόνιση συνθηκών κυκλοφοριακής συμφόρησης και το συνεπακολουθούμενο νέφος που δημιουργείται από την λειτουργία εκατοντάδων κινητήρων εσωτερικής καύσης

### **5.1.2 Εκπομπές από διαδικασίες καύσης**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, σημαντική πηγή αιωρούμενων σωματιδίων, ιδιαίτερα στις πυκνοκατοικημένες πόλεις, αποτελούσε η καύση ορυκτών καυσίμων στις οικίες. Με το πέρασμα του χρόνου η χρήση του βρώμικου, από θέμα ποσοτήτων εκπομπής, κάρβουνου έχει σταδιακά αντικατασταθεί με πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Ανάλογα με τον τρόπο έναυσης η παραπάνω κατηγορία είναι πιθανό να ενταχθεί και στις φυσικές πηγές, όπως για παράδειγμα οι δασικές πυρκαγιές λόγω κεραυνών

Στις διαδικασίες καύσης εντάσσονται και οι διάφορες βιομηχανίες, όπως παραγωγής ενέργειας και μεταλλουργίας. Παρόλο που λόγω ευρωπαϊκής νομοθεσίας οι διάφορες βιομηχανίες υποχρεώνονται να φιλτράρουν τις εκπομπές τους, υπάρχει ένα μικρό ποσοστό διαφευγόντων ρύπων. Επίσης οι ποσότητες καπναερίων που εκλύονται και το γεγονός ότι οι βιομηχανίες λειτουργούν 24 ώρες το εικοσιτετράωρο καθόλη την διάρκεια του χρόνου καθιστούν την παρούσα κατηγορία πηγών ιδιαίτερα σημαντική.

Οι γεωργικές και οι δασικές φωτιές αποτελούν σημαντική, αν και προσωρινή, κατηγορία έκλυσης αέριων σωματιδίων. Η συμβολή τους στην αέρια ρύπανση δεν πρέπει να αμεληθεί καθώς οι περιοχές στην γειτονία της φωτιάς επιβαρύνονται άμεσα με διάφορων μορφών σωματίδια.

## **5.2 Φυσικές πηγές**

### **5.2.1 Ηφαιστειακές εκπομπές**

Τα σωματίδια από εκρήξεις ηφαιστείων εκπέμπονται με την μορφή ιπτάμενης τέφρας και περιέχουν διάφορες χημικές ενώσεις με κυριότερα τα οξείδια του θείου ( $SO_2$ ). Το μεγαλύτερο μέρος των σωματιδίων έχουν διάμετρο μεγαλύτερη από  $10\mu m$  ( $PM_{10}$ ) και η εκπεμπόμενη ποσότητα μπορεί να προκαλέσει μεγάλα προβλήματα ακόμα και στις εναέριες μεταφορές.



*Εικόνα 10: Η έκρηξη του ηφαιστείου Πινατούμπο στις Φιλιπίνες το 1991*

### **5.2.2 Μεταφορά σκόνης**

Η κυριότερη επίπτωση αυτού του φαινομένου είναι ορατή ακόμα και στην χώρα μας. Τα αέρια ρεύματα που παρασύρουν σωματίδια από την έρημο της Σαχάρας μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις σε ολόκληρο το Βόρειο Ημισφαίριο. Δεν είναι αδύνατο τα αέρια ρεύματα να μεταφέρουν την σκόνη της Σαχάρας σε περιοχές όπως η Βόρεια Ευρώπη ή ακόμα και στην Αμερικάνικη Ήπειρο. Το φαινόμενο αυτό εντείνεται σε περιόδους με ισχυρούς ανέμους ή ακόμα και σε περιόδους όπου η υγρασία του εδάφους και η βλάστηση μειώνεται. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι μαύρες καταιγίδες (black blizzards) που έλαβαν χώρα στο Τέξας, στο Κάνσας, στην Οκλαχόμα και στα μέρη γύρω από το Νέο Μεξικό την δεκαετία του 1930, με χαρακτηριστική ένταση το 1934 και το 1936.

Οι μαύρες καταιγίδες ήταν αποτέλεσμα πολλών ετών μονοκαλλιέργειας, η οποία αφαιρεί από το έδαφος ρίζες και άλλα συστατικά τα οποία το συγκρατούν, και της ξηρασίας. Λόγω των παραπάνω το χώμα μετετράπη σε σκόνη και έτσι ήταν ευκολότερο να μεταφερθεί με τον άνεμο. Οι καταιγίδες είχαν τεράστιες επιπτώσεις στην τοπική οικονομία και σε ορισμένες περιπτώσεις απέβησαν μοιραίες για πολλούς από τους κατοίκους, γεγονότα που οδήγησαν την τότε κυβέρνηση των ΗΠΑ σε λήψη μέτρων διαχρονικού χαρακτήρα για την αποφυγή παρόμοιων περιστατικών.



*Εικόνα 11: Φωτογραφία εποχής που δείχνει το μέτωπο της μαύρης καταιγίδας που χτύπησε την Οκλαχόμα των Ηνωμένων Πολιτειών το 1934*

### **5.3 Εκπομπές από δραστηριότητες που δεν περιλαμβάνουν καύση**

Τα δεδομένα στην παγκόσμια βιβλιογραφία δεν είναι επαρκή για να ποσοτικοποιήσουν αυτού του είδους τις εκπομπές. Παρόλα αυτά σε μελέτες που έχουν γίνει κυρίως στις ΗΠΑ αναφέρουν τις οικοδομικές δραστηριότητες ως ένα σημαντικό παράγοντα έκλυσης σωματιδιακών ρύπων. Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται επίσης δραστηριότητες λατομείων, ορυχείων, τσιμέντου και κεραμοποιίας.

Λόγω της μεγάλης χημικής συνάφειας των εκπεμπόμενων, από τις παραπάνω διεργασίες, ρύπων με ρύπους που εκλύονται από άλλες πηγές, όπως η επαναιωρημένη σκόνη, είναι δύσκολη η ποσοτικοποίηση των συνεισφορών τους.



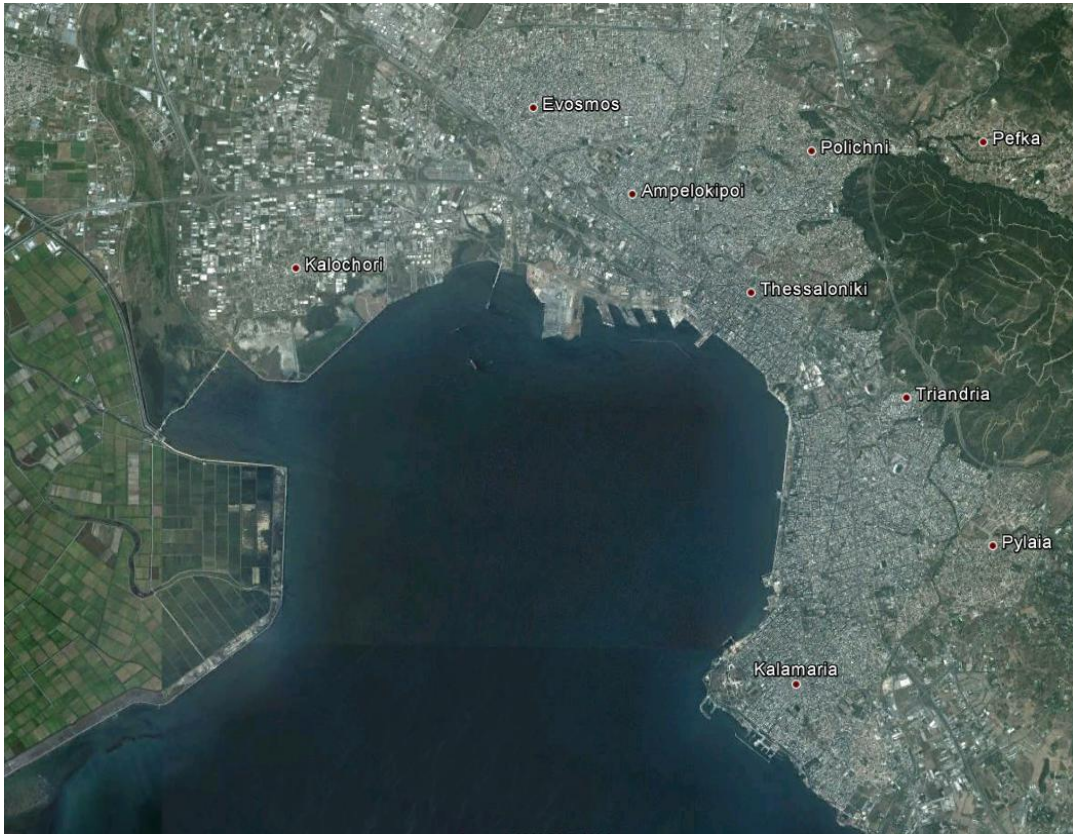


*Εικόνα 11 : Φωτογραφία εργοταξίου μέσα στα σύνορα σύγχρονης ευρωπαϊκής πόλης*

## **6. Η περίπτωση της Θεσσαλονίκης**

Η Θεσσαλονίκη είναι η δεύτερη σε πληθυσμό χώρα της Ελλάδας και πρωτεύουσα του Νομού Κεντρικής Μακεδονίας. Σύμφωνα με την απογραφή του 2011 στη Θεσσαλονίκη κατοικούν 788,952 άτομα ενώ αν συμπεριληφθούν και τα προάστια ο πληθυσμός ανεβαίνει στους 995,766. Δυτικά της βρίσκεται η βιομηχανική περιοχή Σίνδου και ανατολικά ο διεθνής αερολιμένας Θεσσαλονίκης «Μακεδονία». Βόρεια – βορειοανατολικά υψώνεται το όρος Χορτιάτης και βορειοδυτικά είναι η πεδιάδα της Θεσσαλονίκης. Δυτικά της πόλης εκβάλουν τρεις ποταμοί, ο Αξιός, ο Λουδίας και ο Γαλλικός ενώ νοτιότερα ο Αλιάκμονας, ο μεγαλύτερος σε μήκος ποταμός της Ελλάδας. Αξίζει να σημειωθεί ότι το δέλτα του Αξιού αποτελεί ένα τεράστιο υδροβιότοπο έκτασης 22,000 στρεμμάτων ο οποίος προστατεύεται από την Συνθήκη Ραμσάρ. Νότια – Νοτιοδυτικά είναι ο Θερμαϊκός κόλπος, ο μεγαλύτερος κόλπος της Ελλάδος. Και οι τέσσερις ποταμοί που διασχίζουν την πόλη εκβάλουν στον Θερμαϊκό. Στον Θερμαϊκό κόλπο βρίσκεται επίσης και το λιμάνι της Θεσσαλονίκης. Το λιμάνι εξυπηρετεί τις ανάγκες των χωρών της ευρύτερης περιοχής των Βαλκανίων. Στα όρια του νομού βρίσκεται το Κέντρο Διάδοσης Επιστημών και Μουσείο τεχνολογίας η Διεθνής Έκθεση Θεσσαλονίκης και το Κρατικό Θέατρο Βορείου Ελλάδος.





**Εικόνα 12 : Το λιμάνι και η πόλη της Θεσσαλονίκης**



**Εικόνα 13 : Αεροφωτογραφία του Λιμανιού της Θεσσαλονίκης**



*Εικόνα 14: Φωτογραφία του Δημαρχείου της Θεσσαλονίκης*

## **6.1 Οδικές αρτηρίες – Λιμάνια και πιθανές πηγές εκπομπών**

### **6.1.1 Οδικό Δίκτυο – Σιδηροδρομικό Δίκτυο**

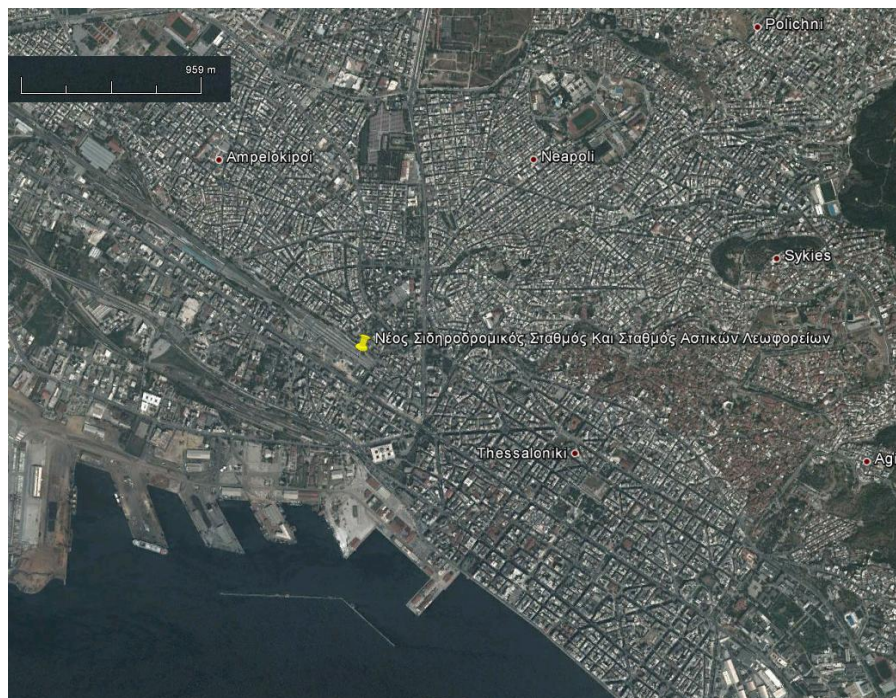
Στην πόλη κινούνται καθημερινά 544 λεωφορεία του Οργανισμού Αστικών Συγκοινωνιών Θεσσαλονίκης (Ο.Α.Σ.Θ.) τα οποία μεταφέρουν περίπου 167,000,000 επιβάτες ετησίως. Συνολικά ο Ο.Α.Σ.Θ. διαθέτει 622 λεωφορεία εκ των οποίων τα 347 είναι κανονικού μεγέθους, τα 249 αρθρωτά, τα 22 μικρά και τα 4 ειδικά διαμορφωμένα για την μετακίνηση ΑμΕΑ. Το δίκτυο χωρίζεται σε 79 λεωφορειακές γραμμές οι οποίες λειτουργούν από τις 6 το πρωί μέχρι τις 12 το βράδυ, με εξαίρεση 8 γραμμές οι οποίες λειτουργούν όλο το 24ωρο.

Το οδικό δίκτυο περιλαμβάνει 12 χιλιόμετρα ποδηλατοδρόμων και από το 2006 εκτελούνται εργασίες κατασκευής του μετρό, οι οποίες αναμένεται να ολοκληρωθούν το 2015. Την πόλη διασχίζουν οι αυτοκινητόδρομοι Πατρών – Αθηνών – Θεσσαλονίκης – Ευζώνων (Α1), ο οδικός άξονας της Εγνατίας Οδού (Α2) και ο άξονας Προμαχώνα – Σερρών – Θεσσαλονίκης – Νέων Μουδανιών (Α25). Επίσης, περιμετρικά της πόλης υπάρχει η Περιφερειακή Οδός η οποία παρακάμπτει το πολεοδομικό συγκρότημα και εξυπηρετεί καθημερινά πάνω από 120,000 οχήματα.

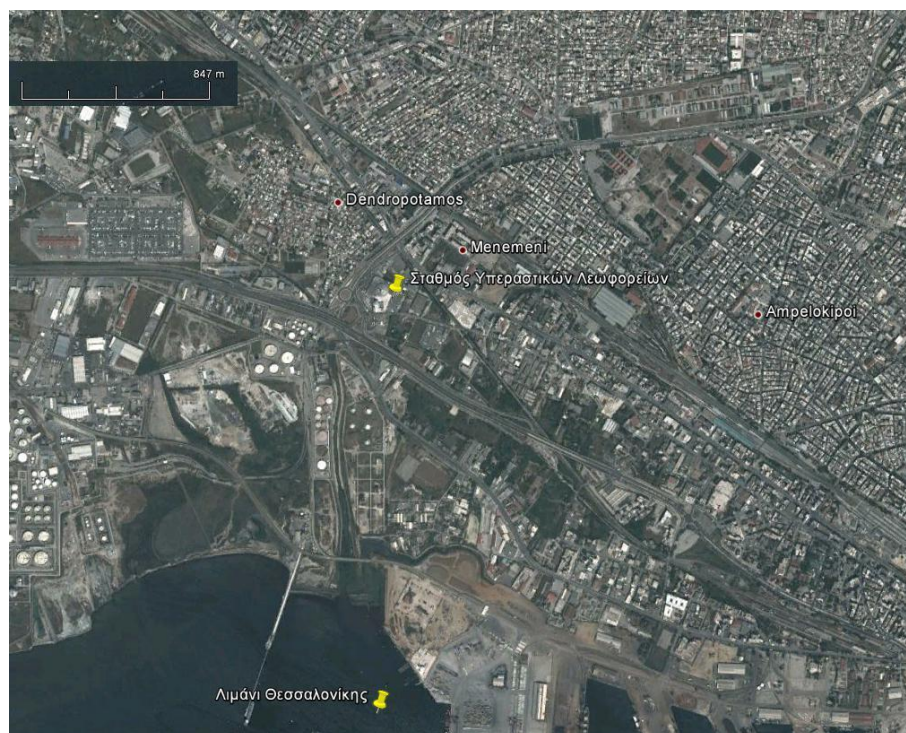
Στην πόλη επίσης βρίσκεται και ο σημαντικότερος σιδηροδρομικός κόμβος της Ελλάδας. Ενώνει τη Θεσσαλονίκη με την Πάτρα, την Αθήνα και τον Προμαχώνα με την υπόλοιπη Ευρώπη και Τουρκία. Ο παλιός σιδηροδρομικός σταθμός



βρίσκεται πλησίον του λιμανιού της Θεσσαλονίκης και χρησιμοποιείται, πλέον, μόνο για εμπορευματικές και ταχυδρομικές μεταφορές.



**Εικόνα 15 : Η θέση του Νέου Σιδηροδρομικού Σταθμού και του Σταθμού Αστικών Λεωφορείων στο Πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης**



**Εικόνα 16 : Το λιμάνι της Θεσσαλονίκης και ο Σταθμός Υπεραστικών Λεωφορείων**

### 6.1.2 Λιμάνι Θεσσαλονίκης

Το λιμάνι της Θεσσαλονίκης είναι ένα από τα μεγαλύτερα λιμάνια της Ελλάδας και ένα από τα μεγαλύτερα στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου. Η ετήσια κίνησή του κυμαίνεται περίπου στους 16 εκατομμύρια τόνους εμπορευμάτων. Επίσης, είναι το δεύτερο μεγαλύτερο λιμάνι εμπορευματοκιβωτίων μετά το λιμάνι του Πειραιά. Αποτελεί την φυσική σύνδεση μεταξύ της Ανατολικής Ευρώπης, της Μαύρης Θάλασσας και των περιοχών της Μέσης Ανατολής.

Η αποβάθρα του λιμανιού έχει μήκος 6.2 χιλιομέτρων και βάθος 12 μέτρων. Ο συνολικός χώρος αποθήκευσης ανέρχεται στα 600,000 τετραγωνικά μέτρα στεγασμένου και μη χώρου και διαθέτει όλα τα τελευταίας τεχνολογίας μηχανήματα για την μεταφορά και ασφαλή αποθήκευση των προϊόντων. Απασχολεί 600 άτομα ενώ πάνω από 2000 άτομα βρίσκονται καθημερινά στις εγκαταστάσεις του.

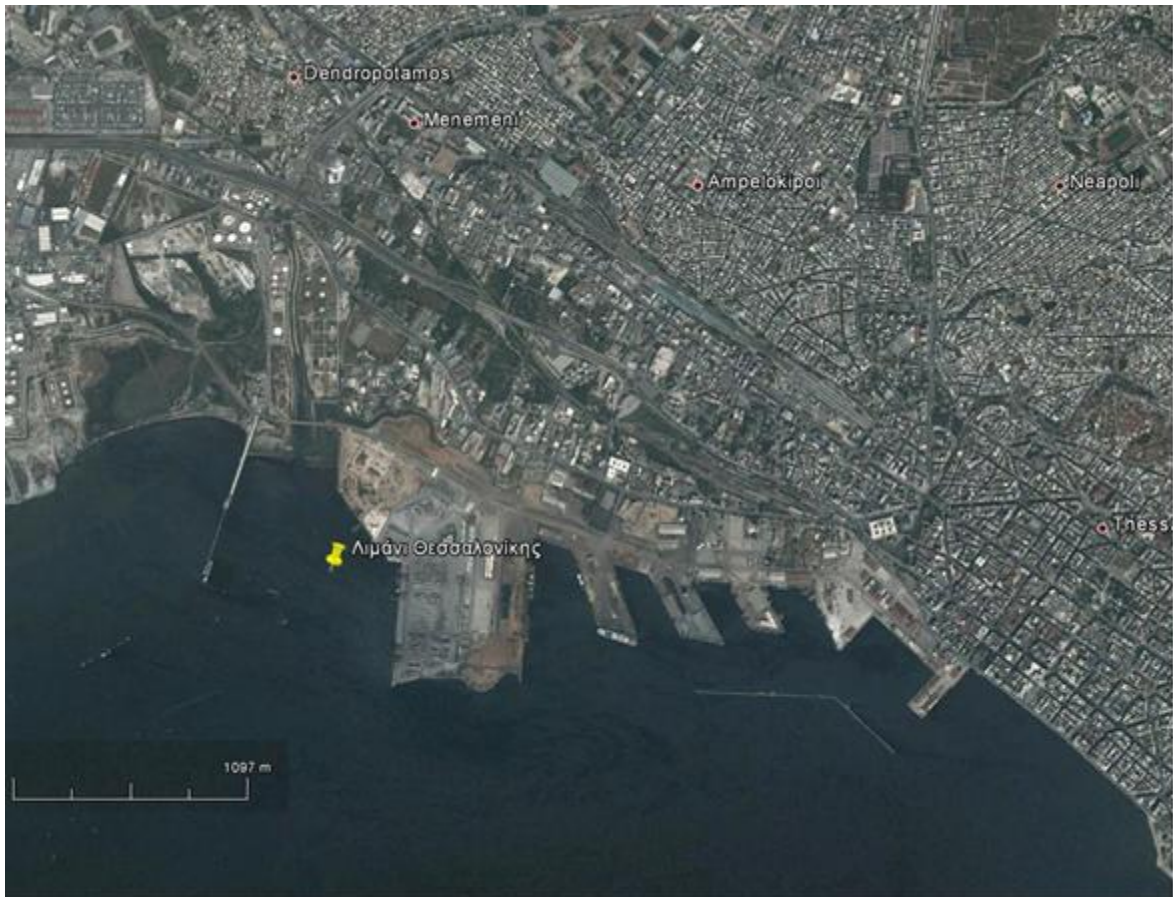
Το μέρος αποθήκευσης των κοντέινερ έχει έκταση 350,000 τετραγωνικών μέτρων και δυνατότητα αποθήκευσης περίπου 5000 κοντέινερ. Ο σταθμός εμπορευμάτων έχει χώρο αποθήκευσης περίπου 1,000,000 τετραγωνικά μέτρα και διαχειρίζεται εμπορεύματα όπως

- Μεταλλεύματα
- Μεταλλικά προϊόντα
- Χημικά προϊόντα (άσφαλτος, πετρελαιοειδή, χλωροφόρμιο)
- Ξυλεία
- Χύδην φορτία
- Γενικά φορτία
- Φαγώσιμα προϊόντα

Το λιμάνι χρησιμοποιείται και ως κέντρο μεταφόρτωσης προϊόντων για τις περιοχές του Αιγαίου, της Μαύρης Θάλασσας και της Μέσης Ανατολής. Ο σταθμός αποθήκευσης καυσίμων έχει χωρητικότητα 500,000 τετραγωνικών μέτρων και δυνατότητα μεταφοράς 9,000,000 τόνων ετησίως.

Τέλος χρησιμοποιείται και για την μεταφορά επιβατών με δυναμικότητα 200,000 ατόμων το χρόνο.





*Εικόνα 17 : Το λιμάνι της Θεσσαλονίκης*

## **7. Ανίχνευση πηγών αιωρούμενων σωματιδίων**

Για τον σωστό έλεγχο της ποιότητας του αέρα εσωτερικών ή εξωτερικών χώρων και την εκτίμηση των ενδεχόμενων κινδύνων για την ανθρώπινη υγεία, πέρα από την μελέτη των συγκεντρώσεων των διάφορων ρύπων, είναι απαραίτητη η ανίχνευση και η ποσοτικοποίηση των συνεισφορών των ανάλογων πηγών. Οι σύγχρονες επιστημονικές μελέτες περιλαμβάνουν ένα μεγάλο εύρος πειραματικών και υπολογιστικών προσεγγίσεων, οι οποίες περιγράφονται με τον γενικότερο όρο Source Apportionment.

### **7.1 Η μεθοδολογία Source Apportionment**

Η εύρεση της συνεισφοράς κάθε πηγής στα επίπεδα της ρύπανσης του αέρα, και συγκεκριμένα των αιωρούμενων σωματιδίων, είναι μια αρκετά πολύπλοκη εργασία. Απαιτεί αξιόπιστα δεδομένα εκπομπών μέσω εστιασμένων μετρήσεων με καλά καθορισμένη αβεβαιότητα και την εφαρμογή των κατάλληλων μαθηματικών εργαλείων, που αναφέρονται ως τεχνικές Source Apportionment. (Σαραγά Δ., 2010)

Οι τεχνικές Source Apportionment για τον εντοπισμό των πηγών των αιωρούμενων σωματιδίων χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες :

- I. Μέθοδοι που βασίζονται στην εκτίμηση των πειραματικών δεδομένων
- II. Μέθοδοι που βασίζονται σε βάσεις απογραφής εκπομπών πηγών (emission inventories) ή σε μοντέλα διασποράς
- III. Μέθοδοι που βασίζονται στην στατιστική επεξεργασία των συγκεντρώσεων ή/και των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των αιωρούμενων σωματιδίων όπως μετριοούνται σε μία ή περισσότερες τοποθεσίες δέκτη (receptor sites)

Η παρούσα διπλωματική θα χρησιμοποιήσει μέθοδο που ανήκει στην τρίτη κατηγορία, δηλαδή ένα μοντέλο αποδέκτη (receptor model). Ο κύριος σκοπός των μοντέλων αποδέκτη είναι να ανιχνεύσουν τις πιθανές πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων και να δώσουν στοιχεία για την συνεισφορά της κάθε πηγής στις ολικές συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων που μετριοούνται σε μία ή περισσότερες τοποθεσίες δέκτη (Hopke et al., 2006)

Το επιστημονικό ενδιαφέρον εστιάζεται στις τεχνικές αυτές οι οποίες οδηγούν στον εντοπισμό των πηγών που διαμορφώνουν την αέρια ρύπανση σε ένα εσωτερικό ή εξωτερικό περιβάλλον, δίνοντας την δυνατότητα για εύρεση λύσεων για την αντιμετώπιση του προβλήματος, ακόμα και αν τα προφίλ των πηγών είναι άγνωστα.

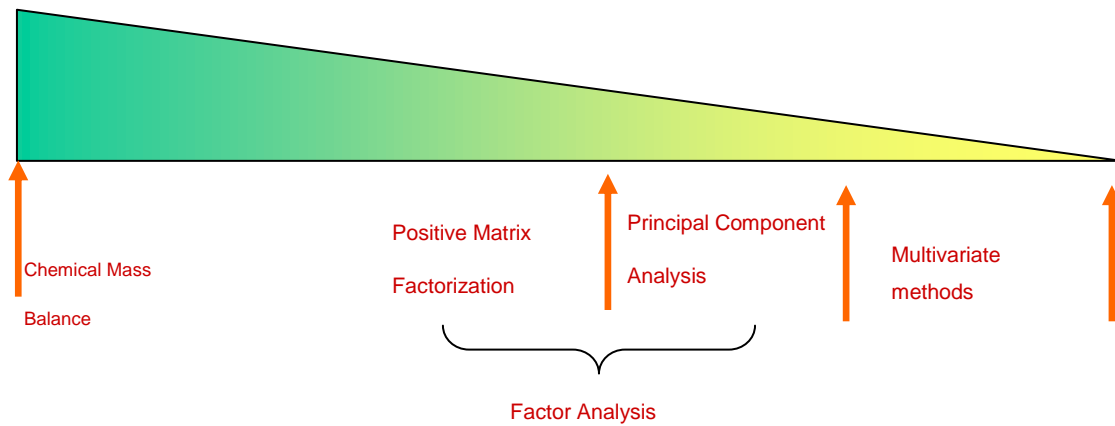
Ως προφίλ πηγής θεωρείται κάθε πληροφορία αναφορικά με το είδος και την ποσότητα έκλυσης ρύπων από την συγκεκριμένη πηγή.

## **7.2 Μοντέλα αποδέκτη**

Τα μοντέλα αποδέκτη χρησιμοποιούν τα δεδομένα από μετρήσεις συγκέντρωσης των ρύπων και - με μερικώς ή ολικώς γνωστά τα προφίλ των πιθανών πηγών - εκτιμούν τις συνεισφορές τους Έχουν ως στόχο να περιγράψουν τα εισαχθέντα περιβαλλοντικά δεδομένα συναρτήσει του προφίλ των πηγών και του προφίλ των συνεισφορών τους. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται τα κυριότερα μοντέλα αποδέκτη καθώς και η πληροφορία του αν και κατά πόσο πρέπει να είναι γνωστά εξ αρχής τα προφίλ των προς ανίχνευση πηγών.

Πλήρης γνώση  
προφίλ πηγών

Άγνωστα  
προφίλ  
πηγών



**Σχήμα 1 : Σχηματική διαβάθμιση βάσει του βαθμού της γνώσης των προφίλ των πηγών που απαιτείται εκ των προτέρων**

Ανάλογα με τον βαθμό γνώσης του προφίλ μιας πηγής τα μοντέλα αποδέκτη χωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

- I. Μεθοδολογίες στις οποίες το πλήθος και το προφίλ των πηγών πρέπει να είναι γνωστά εξ αρχής. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει η προσέγγιση ισοζυγίου μάζας Chemical Mass Balance (CMB). Για να παράγει η CMB αξιόπιστα αποτελέσματα απαιτείται να είναι γνωστά το πλήθος των πηγών καθώς και το προφίλ της κάθε πηγής.
- II. Μεθοδολογίες στις οποίες δεν απαιτείται εκτεταμένη γνώση του πλήθους και του προφίλ των πιθανών πηγών. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν μοντέλα που χρησιμοποιούν παραγοντική ανάλυση (factor analysis) και οι σημαντικότερες τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί είναι η Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες (Principal Component Analysis–PCA), η Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση ( Absolute Principal Component Scores–APCS), η Target Transformation Factor Analysis, η Independent Components Analysis, η UNMIX και η παραγοντοποίηση θετικών πινάκων (Positive Matrix Factorization–PMF).

### 7.3 Το μοντέλο της Positive Matrix Factorization (PMF)

Το μοντέλο της Positive Matrix factorization (PMF) αναπτύχθηκε από τον P. Paatero (1997) και το πρόγραμμα που το χρησιμοποιεί διατίθεται ελεύθερα στο διαδίκτυο από την U.S. E.P.A. (United States Environmental Protection Agency). Στην συνέχεια ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή του μοντέλου.

Η βασική εξίσωση του ισοζυγίου μάζας μπορεί να γραφεί ως εξής :

$$\mathbf{X} = \mathbf{GF} + \mathbf{E}$$

Όπου

**X** : είναι ο  $n \times m$  πίνακας αποτελούμενος από  $x_{ij}$  στοιχεία. Όπου  $x$  είναι η συγκέντρωση του  $i$  στοιχείου στο  $j$  δείγμα ( $i=1, \dots, m$  στοιχεία,  $j=1, \dots, n$  δείγματα). Οι μονάδες των στοιχείων του πίνακα **X** είναι  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ή αριθμός σωματιδίων/ $\text{cm}^3$ .

**G**: είναι ο  $n \times p$  πίνακας αποτελούμενος από  $g_{kl}$  στοιχεία. Όπου  $g$  είναι η συγκέντρωση της  $k^{\text{th}}$  πηγής στο  $j$  δείγμα ( $k=1, \dots, p$  πηγές). Οι μονάδες των στοιχείων του πίνακα **G** είναι  $\mu\text{g}/\mu\text{g}$  ή αριθμός σωματιδίων/αριθμό σωματιδίων.

**F**: είναι ο  $p \times m$  πίνακας αποτελούμενος από  $f_{ik}$  στοιχεία. Όπου  $f$  είναι η συγκέντρωση του  $i$  στοιχείου το οποίο εκπέμπεται από την  $k^{\text{th}}$  πηγή. Οι μονάδες των στοιχείων του πίνακα **F** είναι  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ή αριθμός σωματιδίων/ $\text{cm}^3$ .

**E**: είναι ένας πίνακας καταλοίπου  $E$  τα στοιχεία του οποίου ορίζονται ως η διαφορά της πραγματικής τιμής από την τιμή που υπολογίζει το μοντέλο:

$$e_{ij} = x_{ij} - \hat{x} = x_{ij} - \sum_{k=1}^p f_{ik} g_{kj} \quad (1)$$

Το μοντέλο της PMF προσεγγίζει την λύση της εξίσωσης (1) με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων και απαραίτητη προϋπόθεση είναι η εξαγωγή μόνο θετικών αποτελεσμάτων ως στοιχεία για τους πίνακες **F** και **G**.

Η αντικειμενική συνάρτηση προς ελαχιστοποίηση είναι η :

$$Q(E) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ \frac{e_{ij}}{s_{ij}} \right]^2 \quad (2)$$

Όπου  $s_{ij}$  είναι μια εκτίμηση της αβεβαιότητας του  $i^{\text{th}}$  στοιχείου στο  $j^{\text{th}}$  δείγμα.



Στόχος της PMF είναι η ελαχιστοποίηση της  $Q(E)$  ως προς τους πίνακες  $G$  και  $F$ , με τον περιορισμό τα στοιχεία τους να είναι μη αρνητικά.

Η επίλυση του προβλήματος της ελαχιστοποίησης της ποσότητας  $Q$  λύνεται επαναληπτικά. Ο αλγόριθμος ελαχιστοποιεί την τιμή της  $Q$  λύνοντας την εξίσωση (1) ως προς τον πίνακα  $G$  ή  $F$  θεωρώντας γνωστό τον πίνακα  $F$  ή  $G$  αντίστοιχα. Στη συνέχεια, ο πίνακας που έχει μόλις υπολογιστεί χρησιμοποιείται ως ο γνωστός πίνακας για τον υπολογισμό του δεύτερου και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση.

Ένα από τα πιο κρίσιμα σημεία στην εφαρμογή της PMF είναι η σωστή επιλογή του πλήθους των παραγόντων, που ορίζεται από το χρήστη. Οι παράγοντες αυτοί θα ταυτιστούν στη συνέχεια με πηγές ή ομάδες πηγών. Εάν επιλεγούν λιγότεροι παράγοντες από όσους πραγματικά υπάρχουν, τότε υπάρχει ο κίνδυνος δύο ή περισσότερες πηγές να αντιπροσωπευθούν από έναν παράγοντα. Από την άλλη πλευρά, η επιλογή περισσότερων παραγόντων από τους πραγματικούς, οδηγεί σε διάσπαση μιας πηγής σε δύο ή περισσότερους παράγοντες.

Η θεμελιώδης συνθήκη που πρέπει να ικανοποιείται είναι ότι ο αριθμός των πηγών  $p$  να είναι μικρότερος ή ίσος από το σύνολο των μεταβλητών  $m$ :  $p \leq m$ . Αρκετοί ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει κάποιο μαθηματικό κριτήριο επιλογής του αριθμού των παραγόντων όπως είναι η παρατηρούμενη μεταβολή στις τιμές των υπολοίπων με την αύξηση του αριθμού των παραγόντων (Han et al., 2005; Lee et al., 1999). Παρόλα αυτά, σύμφωνα με τον Paatero, 2004 δεν υπάρχει κάποιο αποδεκτό μαθηματικό κριτήριο.

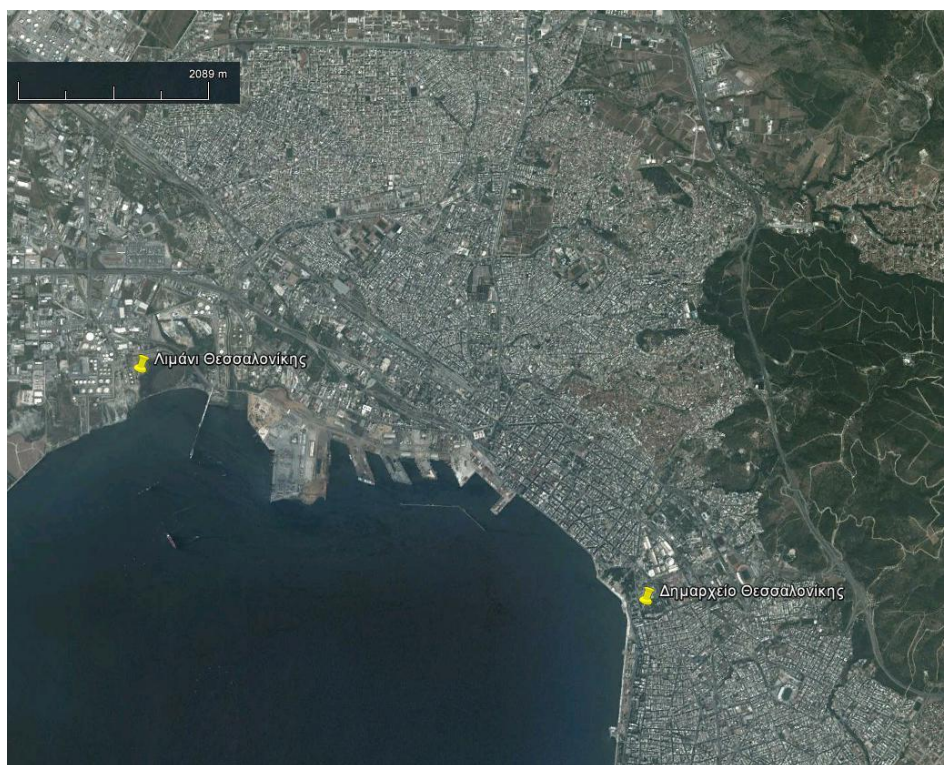
Σύμφωνα με μία άλλη προσέγγιση, η θεωρητική τιμή του  $Q$  πρέπει να είναι προσεγγιστικά ίση με το συνολικό αριθμό των στοιχείων εισόδου (Hopke, 2005). Αν τα σφάλματα ελαχιστοποιηθούν, τότε η συνεισφορά του κάθε σημείου είναι μοναδιαία στην υπολογισμένη τιμή του  $Q$ . Έτσι, εξετάζοντας τη συνάρτηση  $Q$ , μπορεί έμμεσα να γίνει μία εκτίμηση του αριθμού των παραγόντων. Παρόλα αυτά, η προσέγγιση δεν δίνει σωστό αποτέλεσμα, εάν οι αβεβαιότητες δεν είναι ορθώς καθορισμένες. Ενδεικνύεται, για κάθε νέο παράγοντα που προστίθεται, να παρακολουθούνται οι μεταβολές του  $Q$ . Πέρα από τον κατάλληλο αριθμό των παραγόντων, η τιμή του  $Q$  δεν βελτιώνεται άλλο. Ο χρήστης του μοντέλου της PMF πρέπει να εξετάζει τις μεταβολές της παραμέτρου  $Q$  με την αύξηση του αριθμού των παραγόντων ενώ παράλληλα το αποτέλεσμα του πίνακα των συνεισφορών των πηγών  $G$  θα πρέπει να είναι λογικό και να έχει φυσική σημασία. Η ορθότερη

εκτίμηση του πλήθους των παραγόντων γίνεται σε συνδυασμό με την ταυτοποίηση παραγόντων με πηγές καθώς και σε συνδυασμό με άλλες τεχνικές. (Σαραγά Δ. 2010)

## 8. Μελέτη Ανίχνευσης Πηγών Αιωρούμενων Σωματιδίων PM<sub>2.5</sub> στην Περιοχή της Θεσσαλονίκης

### 8.1 Μετρήσεις Αιωρούμενων Σωματιδίων PM<sub>2.5</sub> στην περιοχή της Θεσσαλονίκης

Στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος APICE (Common Mediterranean strategy and local practical Actions for the mitigation of Port, Industries and Cities Emissions), πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων σε πέντε μεσογειακές πόλεις : της Μασσαλίας, της Βενετίας, της Γένοβας, της Βαρκελώνης και της Θεσσαλονίκης (<http://www.apice-project.eu/>). Από την περιοχή της Ελλάδας επιλέχθηκε η Θεσσαλονίκη όπου έγιναν μετρήσεις σε δύο σημεία, ένα στο λιμάνι και ένα στο κέντρο της πόλης (Δημαρχείο πόλης).



**Εικόνα 18 :** Θέσεις τοποθέτησης Δειγματοληπτών

Συνολικά συλλέχθηκαν 322 δείγματα αιωρούμενων σωματιδίων, 161 από το λιμάνι και 161 από το κέντρο της Θεσσαλονίκης. Η 24ωρη δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε με δύο δειγματολήπτες Derenda Low Volume Sampler LVS 3.1.

Ο ένας δειγματολήπτης τοποθετήθηκε στην περιοχή του λιμανιού και ο δεύτερος στην περιοχή του Δημαρχείου της πόλης, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 14. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης μάζας έγινε με την βαρυμετρική μέθοδο κατά EN17025. Στη συνέχεια, στα φίλτρα που συλλέχθηκαν πραγματοποιήθηκε χημική ανάλυση προς ανίχνευση των ιόντων, πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (ΠΑΥ), μετάλλων και οργανικού/στοιχειακού άνθρακα. Η δειγματοληψία έγινε σε δύο περιόδους, την θερμή και την ψυχρή. Η θερμή περίοδος είναι από τις 14 Ιουνίου 2011 μέχρι και τις 21 Δεκεμβρίου 2011 και η ψυχρή περίοδος είναι το διάστημα από 14 Φεβρουαρίου 2012 μέχρι και τις 22 Μαΐου 2012.

Για την ανίχνευση των παραπάνω χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω τεχνικές

- Ιόντα : Ion Chromatography
- PAH : Gas Chromatography – Mass Spectrometry
- Οργανικός και Στοιχειακός Άνθρακας (OC, EC): NIOSH 5040
- Μέταλλα : Φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης

Τα δεδομένα από την χημική ανάλυση των PM<sub>2.5</sub> αποτέλεσαν και τα δεδομένα εισόδου στο μοντέλο Positive Matrix Factorization, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την ανίχνευση των κύριων πηγών αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>2.5</sub> που συνεισφέρουν στις υπό μελέτη περιοχές καθώς και την ποσοτική εκτίμηση της συνεισφοράς τους στις μετρούμενες συγκεντρώσεις.

## **8.2 Αποτελέσματα Εφαρμογής του Μοντέλου Positive Matrix Factorization**

Για την εφαρμογή του μοντέλου δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων (πίνακας 322 \* 25), η οποία περιείχε τις τιμές από τα 322 δείγματα PM<sub>2.5</sub> που συλλέχθηκαν και 25 χημικά συστατικά που ανιχνεύθηκαν.

Για την εισαγωγή των αβεβαιοτήτων δημιουργήθηκε ακόμα ένας πίνακας στα οποία εισήχθη η αβεβαιότητα του κάθε δείγματος. Οι τιμές των δειγμάτων που είχαν συγκεντρώσεις κατώτερες από το όριο ανίχνευσης αντικαταστάθηκαν με τιμές ίσες με το μισό του ορίου ανίχνευσης. Οι τιμές των δειγμάτων για τα οποία δεν υπήρχαν δεδομένα, λόγω σφάλματος στην ανάλυση ή απώλειας του δείγματος, αντικαταστάθηκαν με βάση την διάμεση τιμή. Αντίστοιχα οι τιμές αβεβαιοτήτων για τα δείγματα που βρέθηκαν κάτω από το όριο ανίχνευσης τέθηκαν ίσες με τα 5/6 του ορίου ανίχνευσης. Οι τιμές αβεβαιότητας για τα στοιχεία που δεν ανιχνεύθηκαν τέθηκε ίση με 4 φορές την διάμεση τιμή της συγκέντρωσης (Polissar et al., 2001).

Τα διαθέσιμα δεδομένα για την τοποθέτηση στο μοντέλο της PMF είναι αποτελέσματα που προέκυψαν από αναλύσεις των δειγμάτων στις περιοχές της δειγματοληψίας PM2.5. Οι αναλύσεις ανίχνευσαν 7 Πολυκυκλικούς Αρωματικούς Υδρογονάνθρακες, 8 ιόντα, οργανικό και στοιχειακό άνθρακα καθώς και 13 μέταλλα.

Το μοντέλο της PMF 3.0 χρησιμοποιήθηκε για την αναγνώριση των παραγόντων που σχετίζονται με τις πηγές έκλυσης. Για την εύρεσης λύσης με φυσική σημασία έγινε χρήση των παρακάτω στοιχείων :

- Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες : Benzo[b]fluoranthene, Benzo[k]fluoranthene, Benzo[e]pyrene, Benzo[a]pyrene, Indeno[cd]pyrene, Dibenzo[a,h]anthracene, Benzo[ghi]perylene. Δεν έγινε ανάλυση για τους ελαφρύτερους ΠΑΥ λόγω της υψηλής τους πτητικότητας
- Ιόντα : Ιόν χλωρίου ( $\text{Cl}^-$ ), νιτρικό άλας ( $\text{NO}_3^-$ ), ιόν νατρίου ( $\text{Na}^+$ ), ιόν αμμωνίου ( $\text{NH}_4^+$ ), ιόν καλίου ( $\text{K}^+$ ), ιόν μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ), ιόν ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ )
- Μέταλλα : αλουμίνιο (Al), ασβέστιο (Ca), μαγνήσιο (Mg), σίδηρος (Fe), μαγγάνιο (Mn), τιτάνιο (Ti), βανάδιο (V), χρώμιο (Cr), νικέλιο (Ni), χαλκός (Cu), ψευδάργυρος (Zn), μόλυβδος (Pb), κάλιο (K)
- Χρήση των αναλύσεων για οργανικό και στοιχειακό άνθρακα (OC, EC)

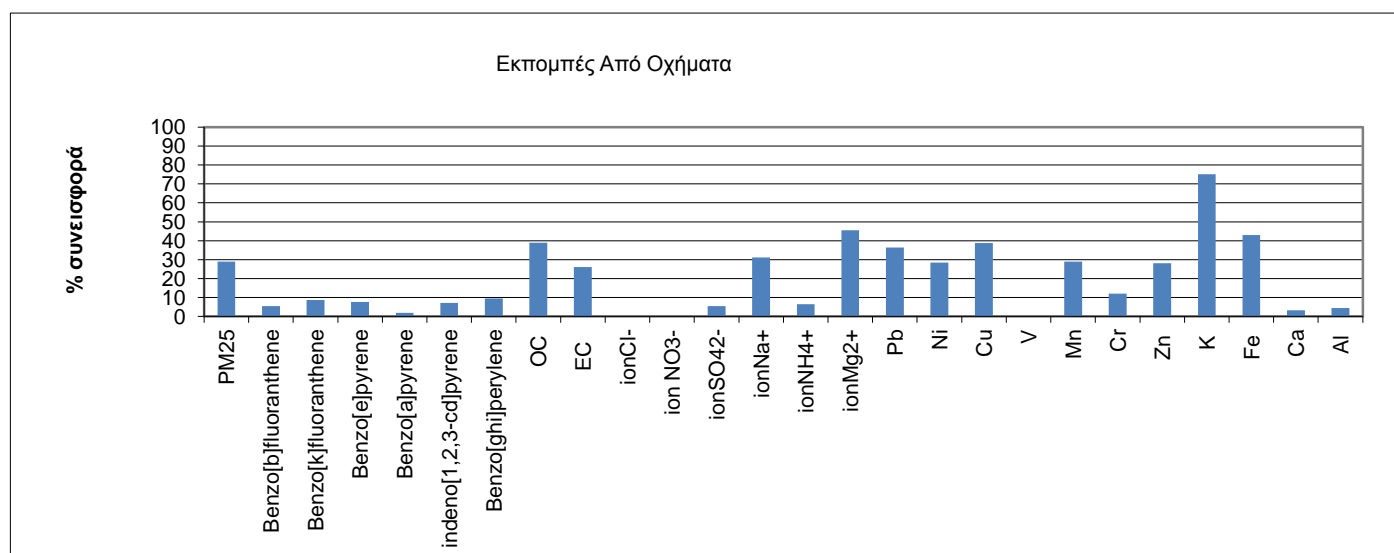
Το μοντέλο εφαρμόστηκε δοκιμαστικά για 3 έως 12 παράγοντες (factors) και με random seed. Για κάθε παράγοντα πραγματοποιήθηκαν 20 runs με σκοπό να βρεθεί η σταθερή τιμή του Q. Όλα τα τρέξιμα συνέκλιναν και οι τιμές του Q είχαν ένα εύρος  $\pm 1,2\%$  σε κάθε περίπτωση. Σε κάθε τρέξιμο, η σταθερή τιμή του Q ήταν χαμηλότερη κατά 1,5 φορές από την πραγματική τιμή Q, υποδεικνύοντας ότι οι ακραίες τιμές των δειγμάτων δεν επηρέαζαν σημαντικά την σταθερή τιμή του Q. Ο βέλτιστος αριθμός των παραγόντων προσδιορίστηκε με την εξέταση των τιμών Q για τις λύσεις της PMF που προκύπτουν από ένα εύρος του αριθμού των τιμών των παραγόντων, χωρίς να αμελείται η ύπαρξη φυσικής σημασίας σε κάθε λύση. (Reff et al., 2007)

Στην παρούσα εργασία ο βέλτιστος αριθμός παραγόντων που συσχετίστηκαν με πηγές ήταν έξι, τόσο για την περιοχή του κέντρου όσο και για την περιοχή του λιμανιού. Στη συνέχεια οι έξι παράγοντες (για κάθε περίπτωση) αντιστοιχήθηκαν με πηγές ή ομάδες πηγών αιωρούμενων σωματιδίων.

## 8.2.1 Η Περιοχή του κέντρου της Θεσσαλονίκης

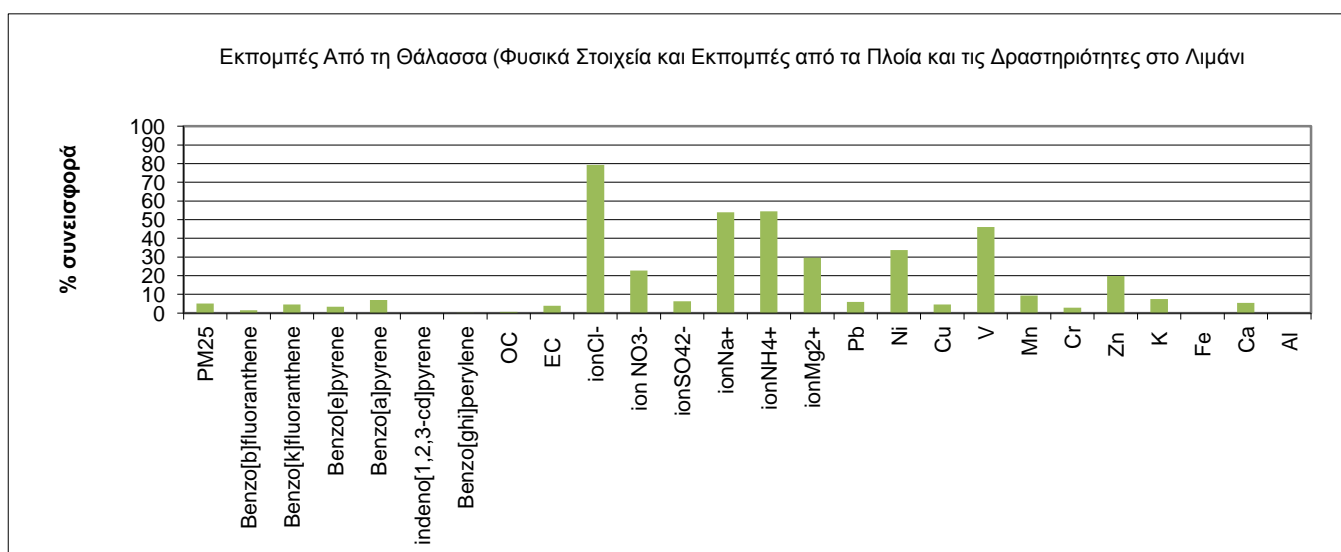
Για την περιοχή του κέντρου της Θεσσαλονίκης ανιχνεύτηκαν έξι παράγοντες του μοντέλου της Positive Matrix Factorization οι οποίοι στη συνέχεια συσχετίστηκαν με τις αντίστοιχες πιθανές πηγές PM<sub>2.5</sub>. Πιο συγκεκριμένα :

Παράγοντας 1 : Στον παράγοντα αυτόν (Σχήμα 2) το μεγάλο σχετικό ποσοστό συνεισφοράς της πηγής σε ψευδάργυρο (Zn) και κάλιο (K) πιθανόν να σχετίζεται με την κίνηση των οχημάτων και τους ρύπους που παράγουν οι κινητήρες τους κατά τη λειτουργία. Το σχετικά μεγάλο ποσοστό μολύβδου (Pb) οφείλεται κυρίως στα πρόσθετα των καυσίμων. Σημαντικό ποσοστό καταλαμβάνουν και οι εκπομπές άνθρακα, τόσο στοιχειακού (Elemental Carbon, EC) όσο και οργανικού (OC). **Έτσι ο παράγοντας αυτός πιθανώς να σχετίζεται με την πηγή των εκπομπών από τα οχήματα.**



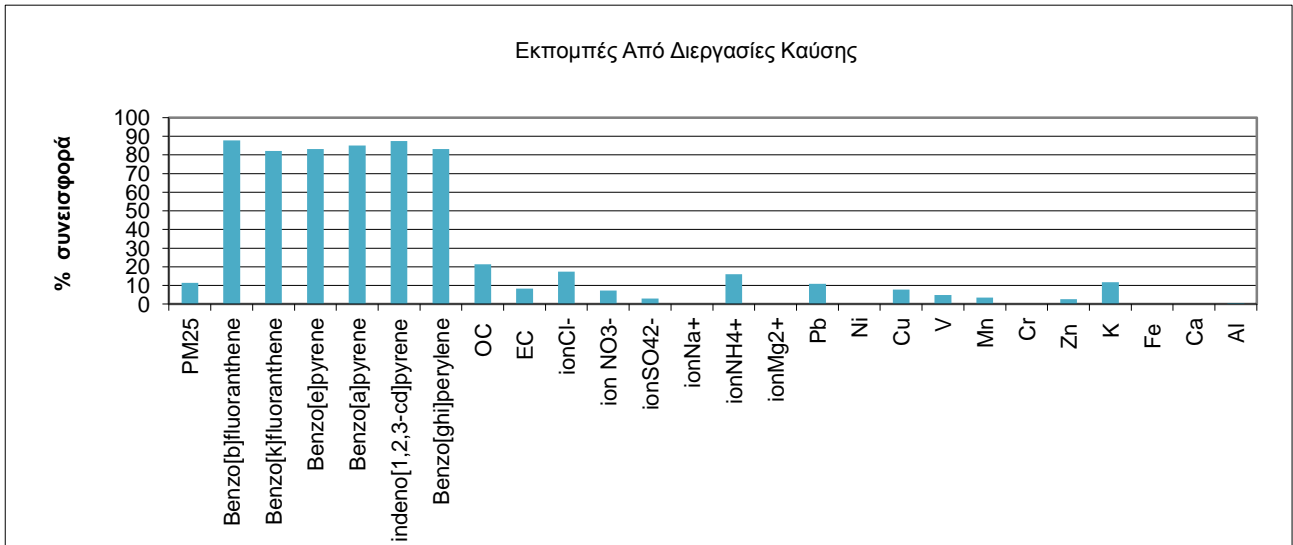
Σχήμα 2 : Σχετικές συνεισφορές πηγών από οχήματα

Παράγοντας 2 : Στον παράγοντα αυτόν (Σχήμα 3) παρατηρούνται μεγάλα σχετικά ποσοστά σε ιόν χλωρίου ( $\text{Cl}^-$ ), ιόν νατρίου ( $\text{Na}^+$ ), ιόν αμμωνίου ( $\text{NH}_4^+$ ) και ιόν μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Από τις ενδείξεις αυτές συμπεραίνεται ότι ο παράγοντας αυτός πιθανόν να αντιστοιχεί στην πηγή της θάλασσας. Παρατηρούνται επίσης μεγάλες σχετικές συνεισφορές σε νικέλιο (Ni) και βανάδιο (V) που είναι πιθανόν να συνδέονται με τις εκπομπές των πλοίων. Λόγω της μεγάλης απόστασης του σημείου δειγματοληψίας από το λιμάνι ήταν δύσκολος ο διαχωρισμός της πηγής θαλάσσιας προέλευσης από τις εκπομπές από τα πλοία. **Έτσι ο παράγοντας αυτός πιθανώς να σχετίζεται με πηγή θαλάσσιας προέλευσης που έχει σχέση τόσο με τα φυσικά στοιχεία όσο και με την κίνηση των πλοίων και της δραστηριότητας στο λιμάνι.**



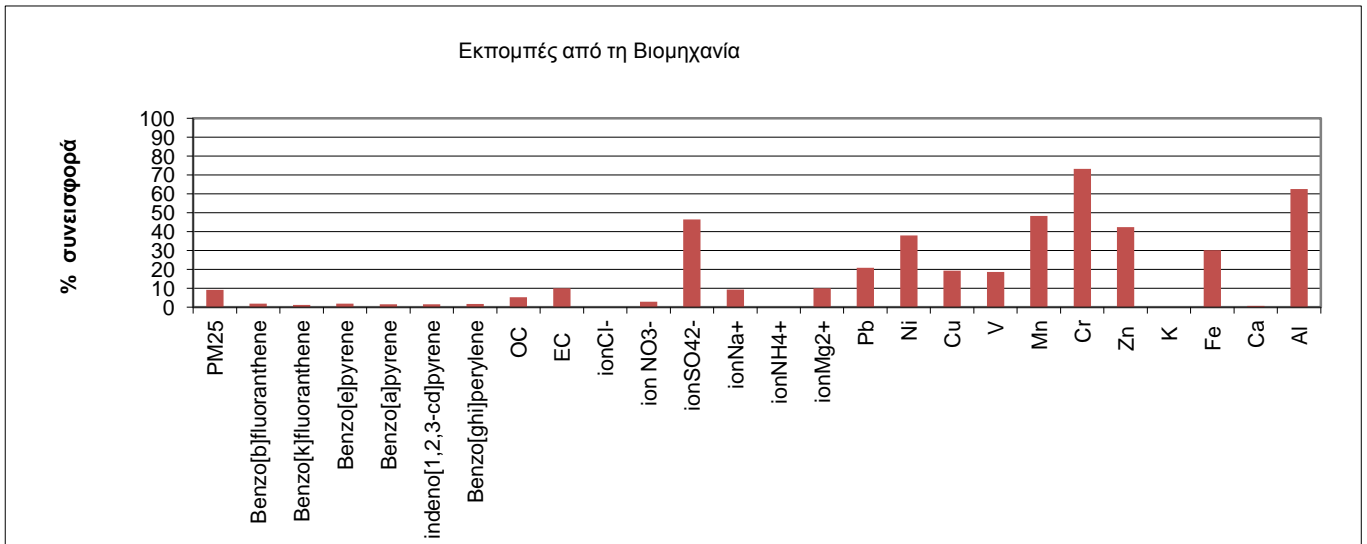
**Σχήμα 3 : Σχετικές συνεισφορές πηγών από τη θάλασσα (Συνεισφορές σε Φυσικά στοιχεία και εκπομπών από τα πλοία και τις δραστηριότητες στο λιμάνι)**

Παράγοντας 3 : Ο παράγοντας αυτός (Σχήμα 4) σχετίζεται με σχετικά υψηλό ποσοστό συνεισφοράς σε Πολυκυκλικούς Αρωματικούς Υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ). Οι ΠΑΥ είναι προϊόντα καύσεων, με διαφοροποίηση στη σύστασή τους ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο καύσιμο και τις συνθήκες καύσης. Λόγω των σχετικά χαμηλών ποσοστών των υπόλοιπων χημικών στοιχείων δεν υπάρχει η δυνατότητα να συσχετιστούν με συγκεκριμένες διεργασίες καύσης όπως καύση ορυκτών καυσίμων. **Έτσι, ο παράγοντας αυτός πιθανώς να σχετίζεται με πηγές που έχουν σχέση με διεργασίες καύσης.**



**Σχήμα 4 : Σχετικές συνεισφορές πηγών από διεργασίες καύσης**

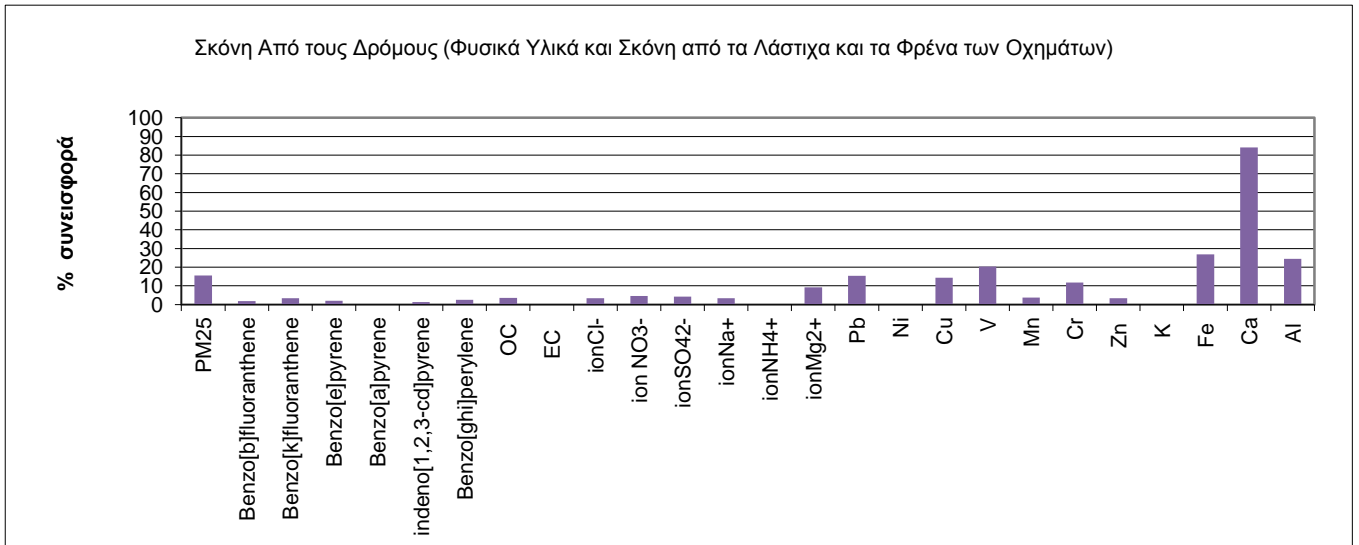
Παράγοντας 4 : Ο παράγοντας αυτός (Σχήμα 5) σχετίζεται με σχετικά υψηλά ποσοστά χρωμίου (Cr), αλουμινίου (Al), ψευδαργύρου (Zn) και μαγνησίου (Mn). Επίσης σχετικά υψηλό ποσοστό συνεισφοράς παρατηρείται και στο θειικό άλας ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Οι παραπάνω εκπομπές παρατηρούνται κατά την καύση ορυκτών καυσίμων (κάρβουνο και πετρέλαιο) , από μεταλλουργικές δραστηριότητες καθώς και από διαδικασίες παραγωγή τσιμέντου. **Κατά συνέπεια, ο παράγοντας αυτός πιθανώς να σχετίζεται με εκπομπές από τη βιομηχανία.**



**Σχήμα 5 : Σχετικές συνεισφορές πηγών από τη βιομηχανία**

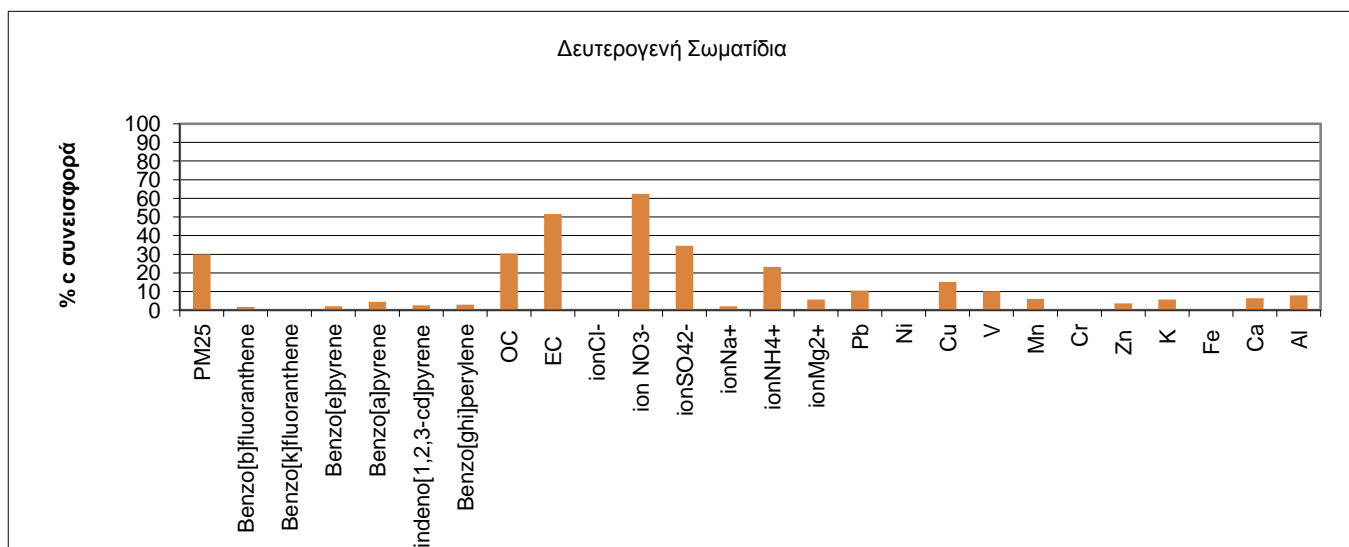


Παράγοντας 5 : Ο παράγοντας αυτός (Σχήμα 6) σχετίζεται με σχετικά υψηλά ποσοστά σιδήρου (Fe), ασβεστίου (Ca) και αλουμινίου (Al). Τα στοιχεία αυτά βρίσκονται σε περίσσεια στον φλοιό της Γης καθώς και στους δρόμους. Επίσης αποτελούν δομικά στοιχεία των υλικών τριβής καθώς και τον ελαστικών των οχημάτων. **Έτσι, ο παράγοντας αυτός πιθανώς σχετίζεται τόσο με την επαναιώρηση της σκόνης των δρόμων όσο και των σωματιδίων που προκαλούνται κατά την τριβή των μηχανικών μερών των οχημάτων (λάστιχα, φρένα).**



**Σχήμα 6 : Σχετικές συνεισφορές από την σκόνη των δρόμων και της τριβής των μηχανικών μερών των οχημάτων**

Παράγοντας 6 :Ο παράγοντας αυτός (Σχήμα 7)σχετίζεται με σχετικά υψηλά ποσοστά συνεισφορών σε οργανικό και στοιχειακό άνθρακα (OC, EC), νιτρικό ιόν ( $\text{NO}_3^-$ ) και θειικό άλας ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), υποδεικνύοντας την πιθανή σύνδεσή του με **δευτερογενή σωματίδια**.

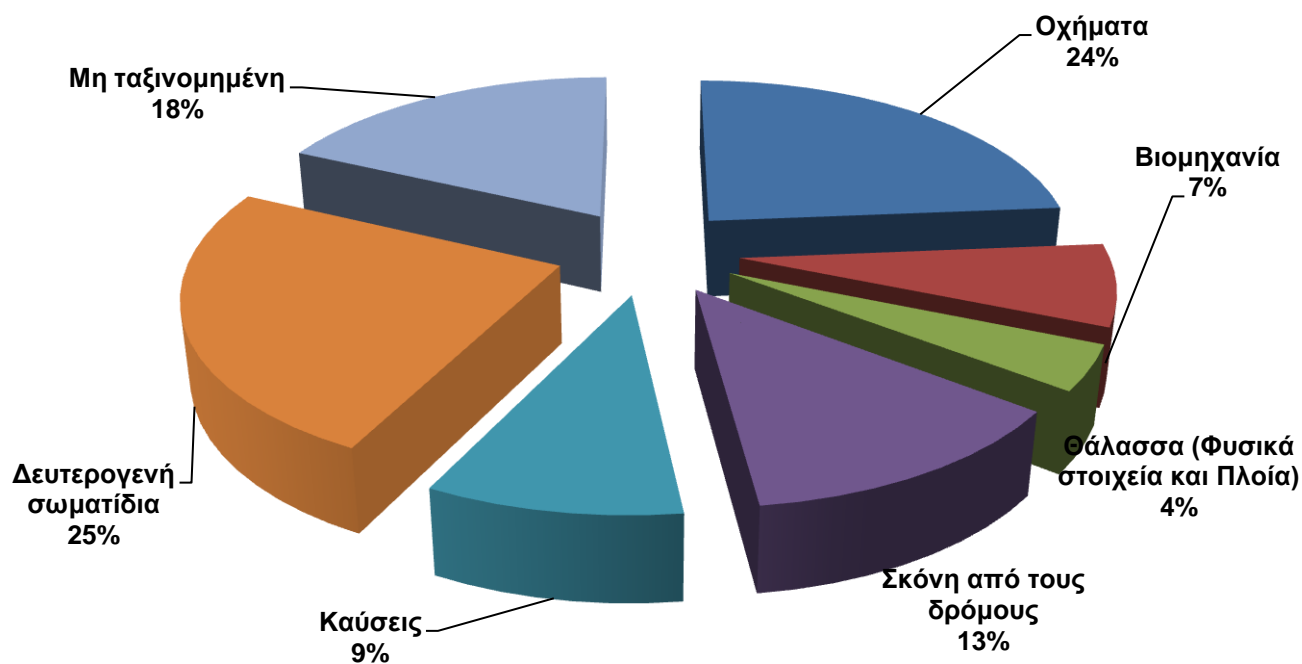


**Σχήμα 7 : Σχετικές συνεισφορές από δευτερογενή σωματίδια**

Από την εφαρμογή του μοντέλου της Positive Matrix Factorization εκτός από την ανίχνευση των πηγών, προκύπτει και η ποσοτικοποίηση των συνεισφορών τους στις μετρούμενες συγκεντρώσεις. Για την περίπτωση του κέντρου της Θεσσαλονίκης η επί τοις εκατό συνεισφορά των πηγών στις μετρούμενες συγκεντρώσεις PM2.5 φαίνεται στο Σχήμα8. Στο Σχήμα9 παρουσιάζεται η κατανομή των συνεισφορών των πηγών σε συγκέντρωση μάζας ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

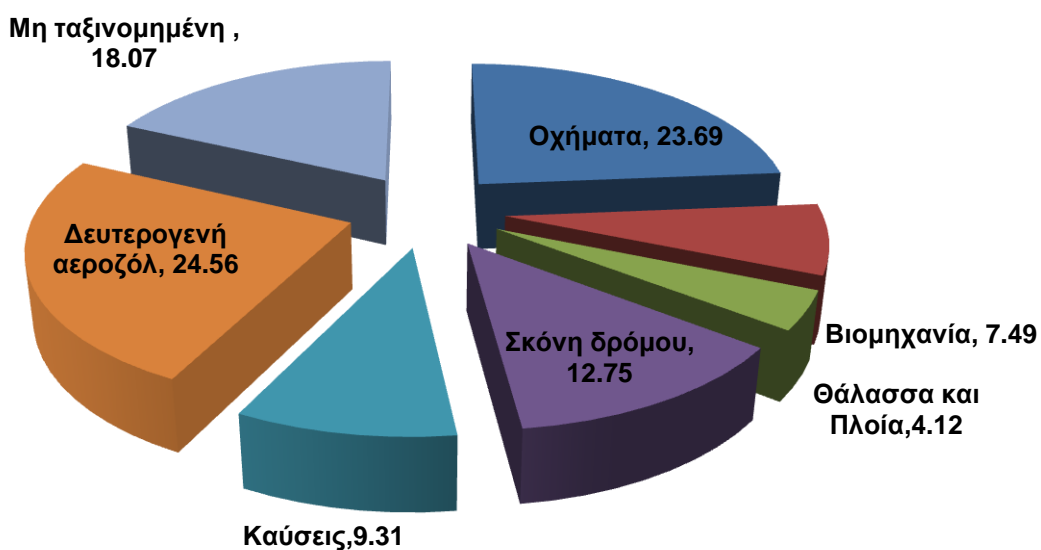
Παρατηρείται ότι την μεγαλύτερη συνεισφορά εμφανίζουν τα δευτερογενή σωματίδια (25%) καθώς και οι εκπομπές από τα οχήματα (24%), ακολουθεί η σκόνη από τους δρόμους (13%), οι καύσεις (9%), οι βιομηχανικές εκπομπές (7%) και οι εκπομπές από την θάλασσα (4%)

### Πηγές PM2.5 στο Κέντρο της Θεσσαλονίκης



Σχήμα 8: Σχετικές συνεισφορές πηγών στο κέντρο της Θεσσαλονίκης

### Πηγές PM2.5 στο Κέντρο της Θεσσαλονίκης (μg/m<sup>3</sup>)

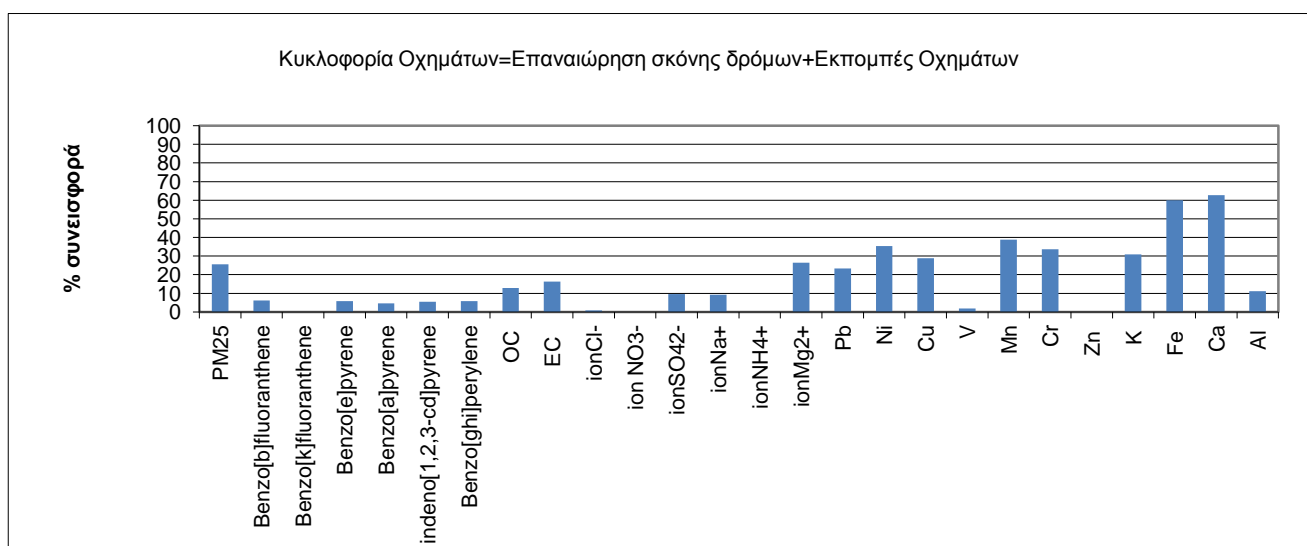


Σχήμα 9: Συνεισφορές πηγών στο κέντρο της Θεσσαλονίκης

## 8.2.2 Η Περιοχή του Λιμανιού Θεσσαλονίκης

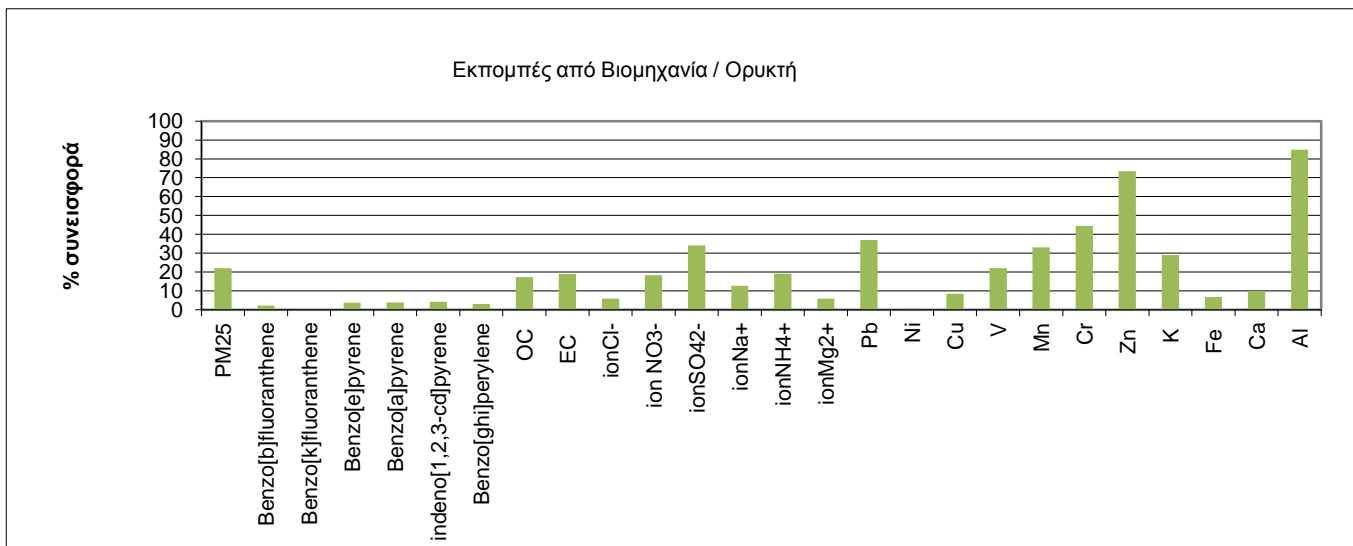
Για την περιοχή του Λιμανιού της Θεσσαλονίκης αναγνωρίστηκαν έξι παράγοντες του μοντέλου της Positive Matrix Factorization οι οποίοι στη συνέχεια συσχετίστηκαν με τις αντίστοιχες πιθανές πηγές PM<sub>2.5</sub>. Πιο συγκεκριμένα :

Παράγοντας 1 : Ο παράγοντας αυτός (Σχήμα 10) συσχετίζεται με σχετικά υψηλές συνεισφορές σιδήρου (Fe), ασβεστίου (Ca) και καλίου (K). Λόγω της αφθονίας των προαναφερθέντων συστατικών, στον φλοιό της Γης η πηγή πιθανώς να σχετίζεται με την επαναιώρηση της σκόνης του δρόμου. Οι σχετικά υψηλές συνεισφορές του ίδιου παράγοντα σε μόλυβδο (Pb), νικέλιο (Ni), χαλκό (Cu) καθώς και οργανικού και στοιχειακού άνθρακα (OC, EC) υποδεικνύουν την πιθανή ύπαρξη πηγής σχετιζόμενη με τις καύσεις ορυκτών καυσίμων στα οχήματα. **Έτσι, ο παράγοντας αυτός σχετίζεται με την κυκλοφορία των οχημάτων, τόσο με τις καύσεις ορυκτών καυσίμων, όσο και την επαναιώρησης της σκόνης των δρόμων που αυτά προκαλούν κατά την κίνησή τους.**



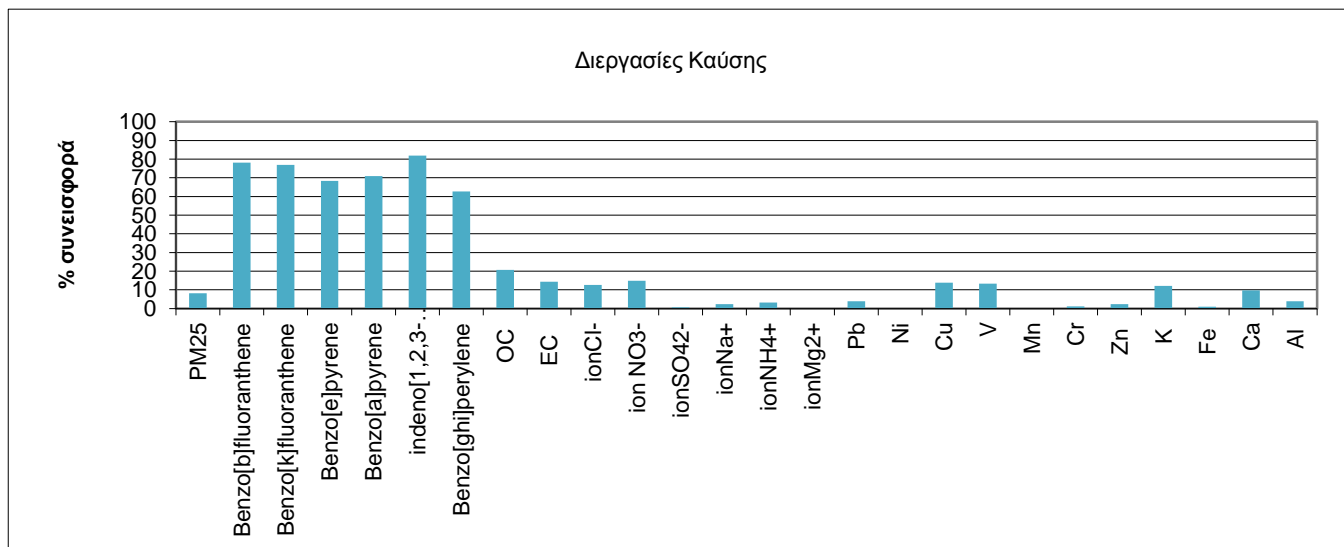
Σχήμα 10: Σχετικές συνεισφορές από την κυκλοφορία των οχημάτων

Παράγοντας 2 : Ο παράγοντας αυτός (Σχήμα 11) σχετίζεται με υψηλές σχετικές συνεισφορές σε αλουμίνιο (Al), ψευδάργυρο (Zn), χρώμιο (Cr), θειικά άλατα ( $SO_4^{2-}$ ) καθώς και οργανικό και στοιχειακό άνθρακα (OC , EC). Τα στοιχεία αυτά υποδεικνύουν πιθανή συσχέτιση της πηγής με βιομηχανικές εκπομπές. Στην ευρύτερη περιοχή του λιμανιού υπάρχουν διυλιστήριο, βιομηχανία παραγωγής τσιμέντου καθώς και χαλυβουργία.



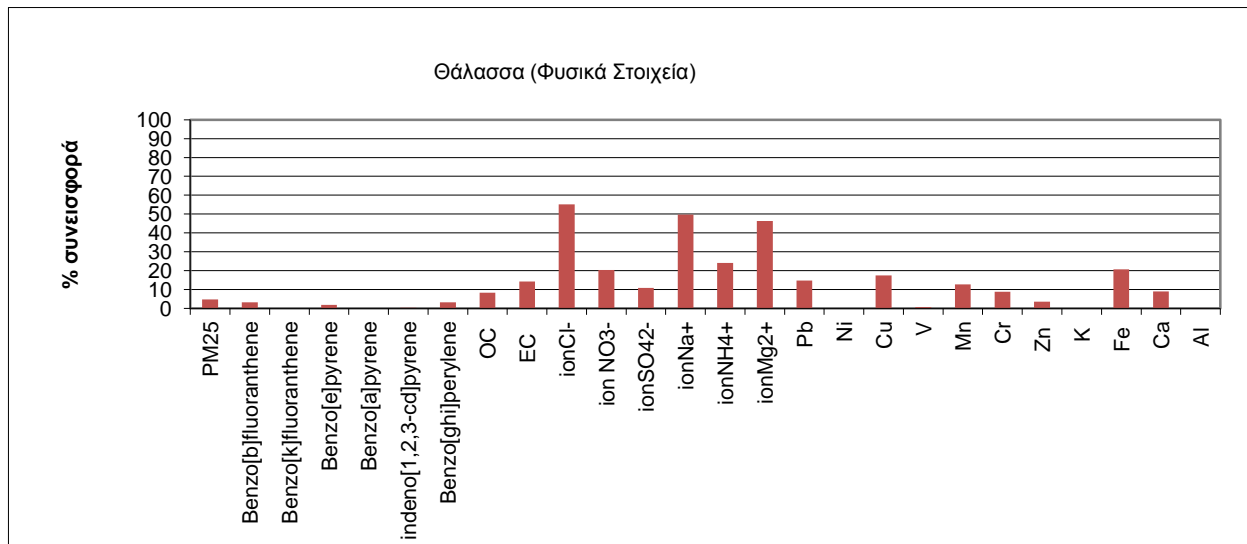
**Σχήμα 11: Σχετικές συνεισφορές βιομηχανικής / ορυκτής πηγής**

Παράγοντας 3 : Ο παράγοντας (Σχήμα 12) σχετίζεται με υψηλές σχετικές συνεισφορές σε Πολυκυκλικούς Αρωματικούς Υδρογονάνθρακες καθώς και οργανικό και στοιχειακό άνθρακα (OC, EC) γεγονός που υποδεικνύει πιθανή συσχέτιση της πηγής με διεργασίες καύσης. Ο παράγοντας σχετίζεται επίσης με χαλκό (Cu) και βανάδιο (V) τα οποία πιθανώς να υποδηλώνουν συσχέτιση με καύση ορυκτών καυσίμων, τα ποσοστά συνεισφοράς τους όμως είναι ιδιαίτερα χαμηλά ώστε να συνδέσουν τον παράγοντα με την πηγή των οχημάτων. **Έτσι ο παράγοντας σχετίζεται με διεργασίες καύσης.**



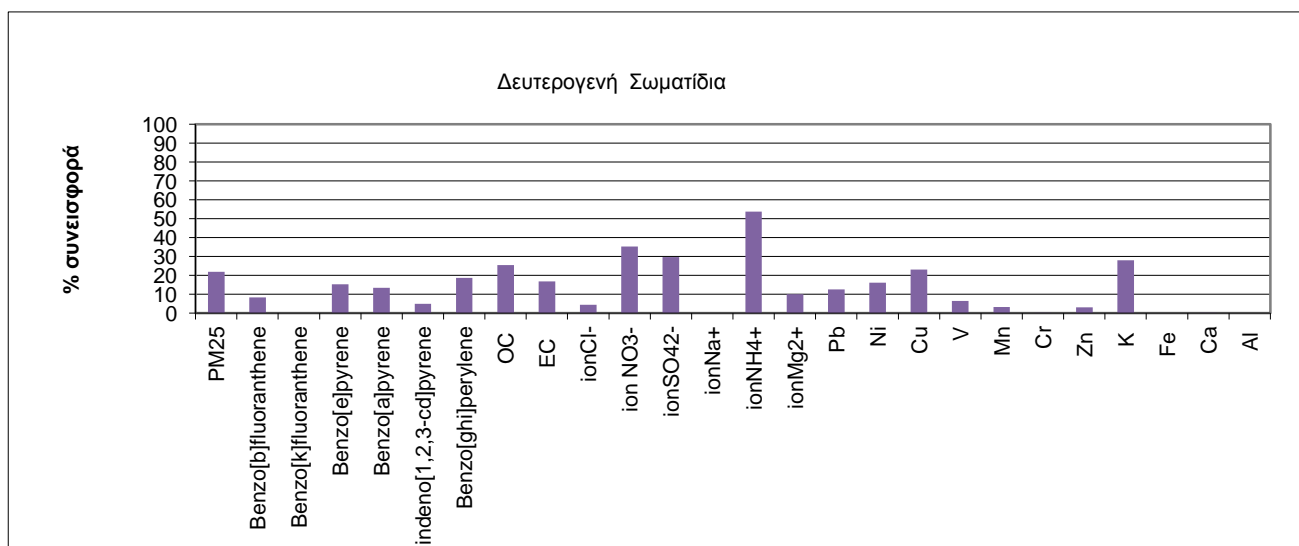
Σχήμα 12: Σχετικές συνεισφορές διεργασιών καύσης

Παράγοντας 4 : Ο παράγοντας αυτός (Σχήμα 13) συσχετίζεται με υψηλά σχετικά ποσοστά ιόντων χλωρίου ( $\text{Cl}^-$ ), ιόντων νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) καθώς και ιόντων μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Τα παραπάνω χημικά στοιχεία βρίσκονται σε περίσσεια, ως φυσικά στοιχεία, στην θάλασσα. **Έτσι, ο παράγοντας πιθανώς να σχετίζεται με την πηγή της θάλασσας (φυσικά συστατικά).**



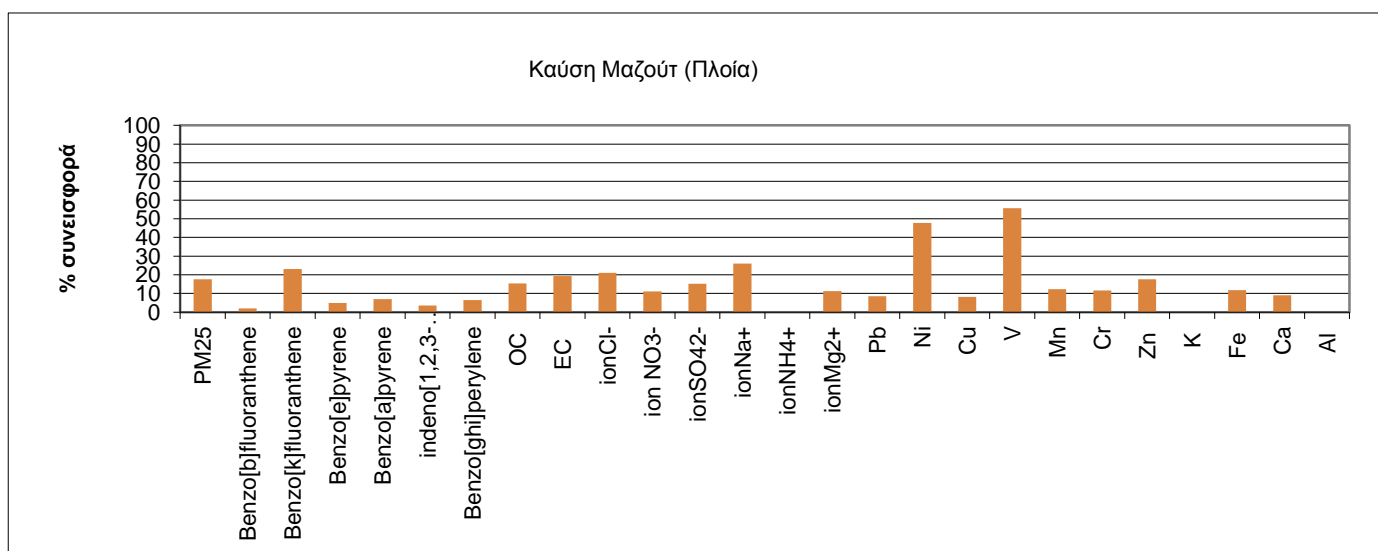
Σχήμα 13: Σχετικές συνεισφορές από την θάλασσα (φυσικά στοιχεία)

Παράγοντας 5 :Ο παράγοντας αυτός (Σχήμα 14) σχετίζεται με σχετικά υψηλά ποσοστά συνεισφορών σε οργανικό και στοιχειακό άνθρακα (OC, EC), νιτρικό ιόν ( $\text{NO}_3^-$ ) και θειικό άλας ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), υποδεικνύοντας την πιθανή σύνδεσή του με δευτερογενή σωματίδια.



Σχήμα 14: Σχετικές συνεισφορές από δευτερογενή σωματίδια

Παράγοντας 6 : Ο παράγοντας (Σχήμα 15) σχετίζεται με σχετικά υψηλά ποσοστά συνεισφοράς νικελίου (Ni), βαναδίου (V), benzo[k]fluoranthene, οργανικού και στοιχειακού άνθρακα (OC, EC). Στην περιοχή του λιμανιού διέρχονται καθημερινά πλοία τα οποία χρησιμοποιούν ως καύση βαρέα κλάσματα πετρελαίου (μαζούτ), τα οποία περιέχουν σημαντικές συγκεντρώσεις σε νικέλιο (Ni) και βανάδιο (V). **Έτσι, ο παράγοντας πιθανώς να σχετίζεται με εκπομπές από την καύση μαζούτ στα πλοία.**

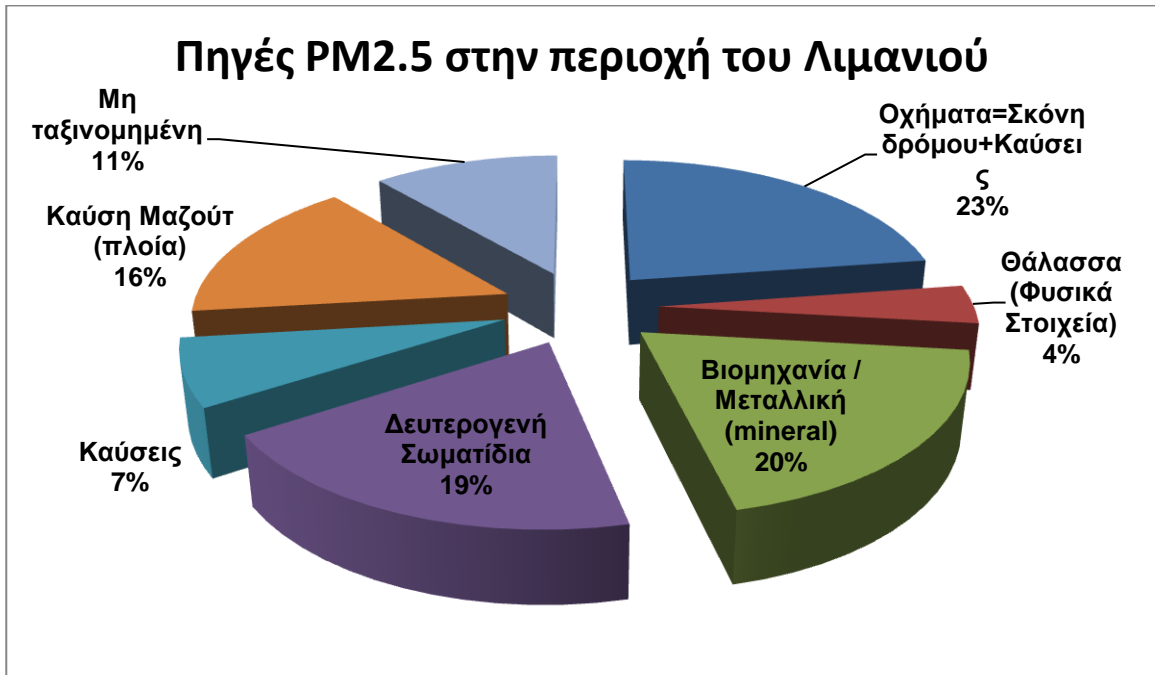


**Σχήμα 15: Σχετικές συνεισφορές από την καύση μαζούτ στα πλοία**

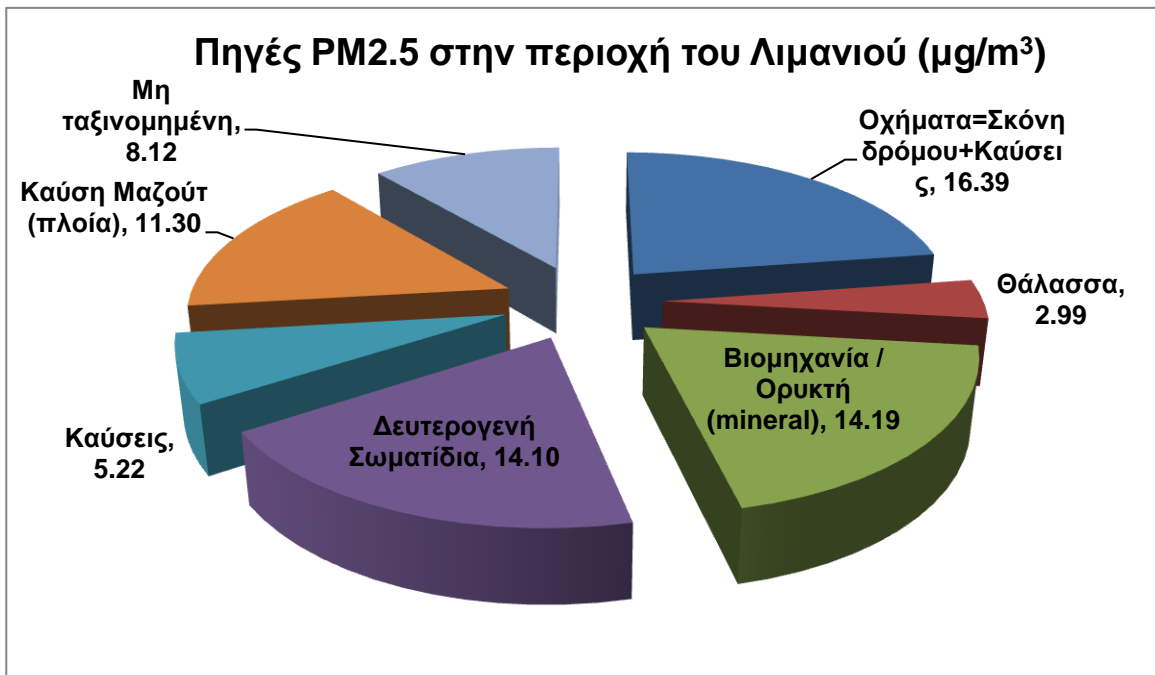
Για την περίπτωση του λιμανιού της Θεσσαλονίκης η επί τοις εκατό συνεισφορά των πηγών στις μετρούμενες συγκεντρώσεις PM2.5 φαίνεται στο Σχήμα16 . Στο Σχήμα17 παρουσιάζεται η κατανομή των συνεισφορών των πηγών σε συγκέντρωση μάζας ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Σε αντίθεση με το κέντρο της πόλης, όπου τα δευτερογενή σωματίδια είχαν την μεγαλύτερη συνεισφορά, στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης την μεγαλύτερη συνεισφορά εμφανίζουν οι εκπομπές από τα οχήματα, είτε λόγω καύσης ορυκτών καυσίμων είτε λόγω της επαναιώρησης της σκόνης του δρόμου (23%) καθώς και εκπομπές από βιομηχανικές / μεταλλικές πηγές (20%). Τα δευτερογενή σωματίδια εμφανίζουν το 19% της συνολικής συνεισφοράς στην μάζα των σωματιδίων. Η καύση μαζούτ από τα πλοία εμφανίζει το 16% της συνεισφοράς των πηγών και τέλος την μικρότερη συνεισφορά έχουν οι καύσεις (7%) και η θάλασσα (4%)





Σχήμα 16: Σχετικές συνεισφορές πηγών στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης



Σχήμα 17: Συνεισφορές πηγών στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης

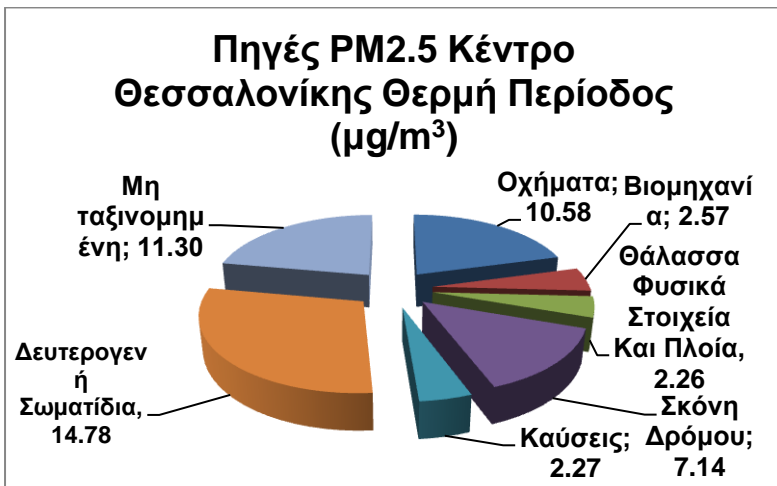
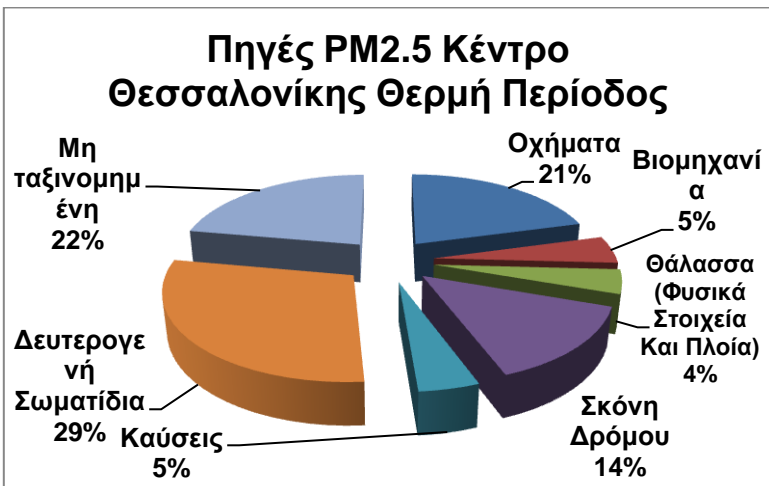
## 8.3 Εποχική Διακύμανση

### 8.3.1 Η περιοχή του Κέντρου της Θεσσαλονίκης

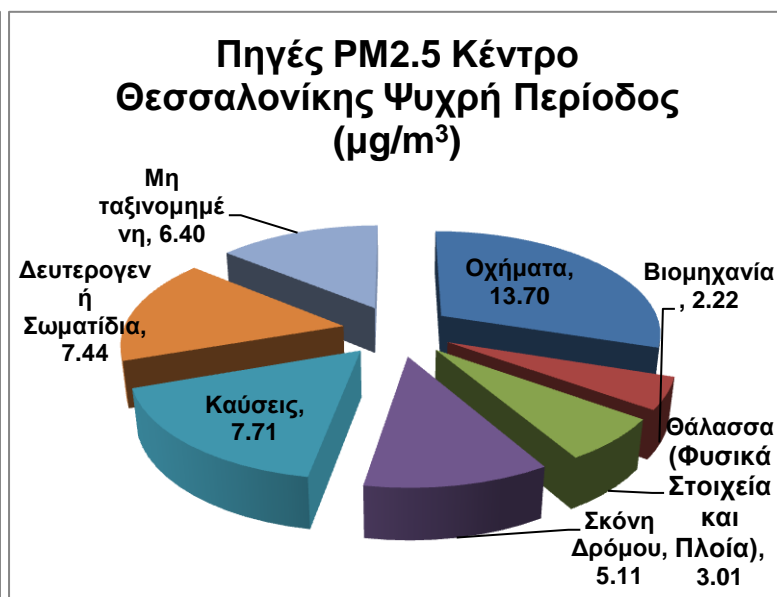
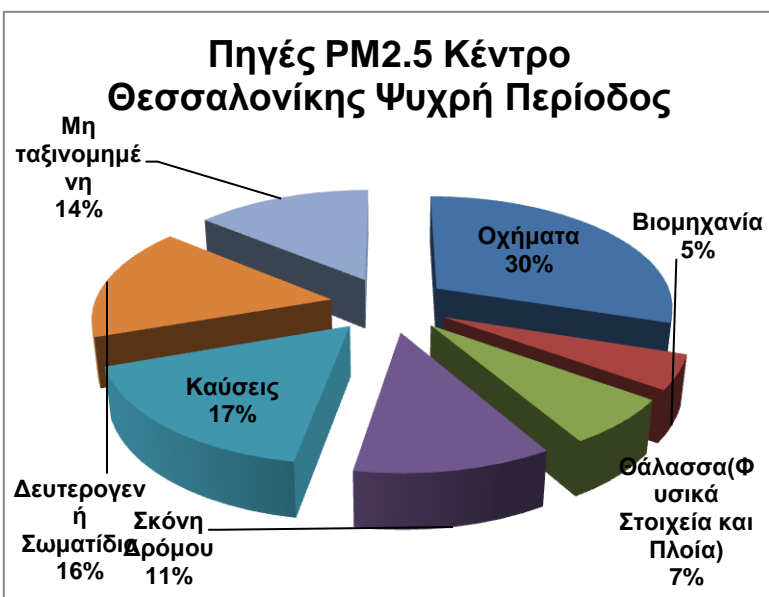
Κατά την εφαρμογή του μοντέλου της Positive Matrix Factorization ανά εποχή προέκυψαν διαφορετικά ποσοστά συνεισφορών των πηγών.

Πιο συγκεκριμένα, κατά την θερμή περίοδο τα ποσοστά των δευτερογενών σωματιδίων είχαν περίπου την διπλάσια συνεισφορά στις μετρούμενες συγκεντρώσεις σωματιδίων από ότι την ψυχρή (29% θερμή περίοδος, 16% ψυχρή περίοδος) όπως φαίνεται στα Σχήματα 18 και 19 για την θερμή και ψυχρή περίοδο, αντίστοιχα. Το αυξημένο ποσοστό συνεισφοράς των δευτερογενών σωματιδίων τη θερμή περίοδο είναι πιθανό να οφείλεται στην αυξημένη ηλιοφάνεια και τις αυξημένες θερμοκρασίες, σε σχέση με την ψυχρή. Μεγάλη διαφοροποίηση παρατηρείται, επίσης, και στο ποσοστό συνεισφοράς των καύσεων, όπου το ποσοστό συνεισφοράς την θερμή περίοδο είναι 5% ενώ την ψυχρή φτάνει στο 17%. Η κατά περισσότερο από τρεις φορές αυξημένη συνεισφορά των καύσεων στα σωματίδια PM<sub>2.5</sub> είναι πιθανό να οφείλεται στην λειτουργία των εγκαταστάσεων θέρμανσης, που ως επί το πλείστον καταναλώνει ορυκτά και μη καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ξύλα) για την λειτουργία της.

Μικρότερη εποχική διακύμανση της συνεισφοράς παρατηρείται για την περίπτωση των οχημάτων. Κατά την θερμή περίοδο, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 18α, το ποσοστό της συνεισφοράς είναι 21% ενώ την ψυχρή φτάνει στο 30% (Σχήμα 18β). Η μείωση κατά την θερινή περίοδο είναι πιθανό να οφείλεται σε συνθήκες ηπιότερης κυκλοφορίας των οχημάτων. Το ποσοστό συνεισφοράς της βιομηχανίας είναι σταθερό και ίσο με 5% και την θερμή (Σχήμα 18α) και την ψυχρή (Σχήμα 18β) περίοδο. Επίσης υπάρχει μια μικρή άνοδος του ποσοστού συνεισφοράς της σκόνης των δρόμων κατά την θερμή περίοδο, φαινόμενο για το οποίο πιθανώς να οφείλεται στις μειωμένες βροχοπτώσεις. Αύξηση κατά περίπου 100% παρατηρείται στο ποσοστό συνεισφοράς της θάλασσας κατά την ψυχρή περίοδο. Κατά την θερμή περίοδο το ποσοστό σχετικής συνεισφοράς είναι στο 4% ενώ κατά την ψυχρή 7%.



Σχήμα18α : Εποχική διακύμανση σχετικών συνεισφορών στο κέντρο της Θεσσαλονίκης, Θερμή Περίοδος



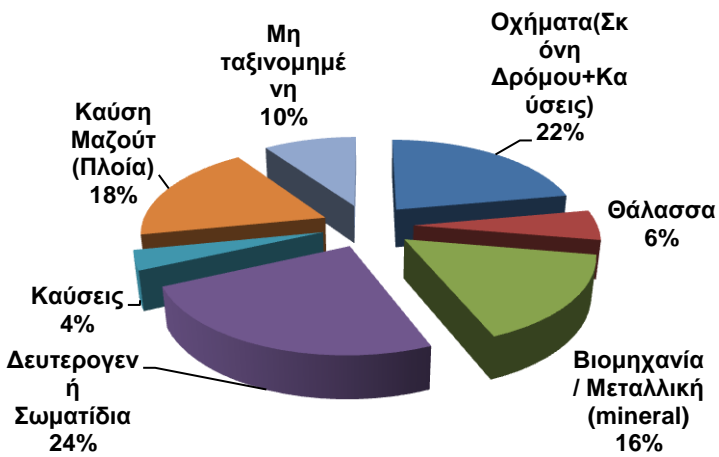
Σχήμα18β : Εποχική διακύμανση σχετικών συνεισφορών στο κέντρο της Θεσσαλονίκης, Ψυχρή Περίοδος

Το ποσοστό συνεισφοράς της βιομηχανίας / ορυκτή παρουσιάζεται αυξημένο σε σχέση με τη θερμή περίοδο. Το ποσοστό συνεισφοράς των οχημάτων εμπεριέχει δύο πηγές, τόσο τις καύσεις όσο και την επαναιώρηση της σκόνης του δρόμου και καταλαμβάνει περίπου το ένα πέμπτο (22%) της συνεισφοράς όλων των υπόλοιπων πηγών.

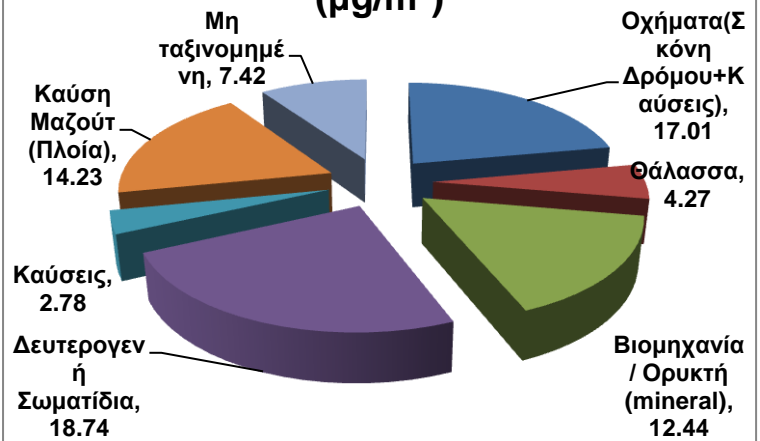
### 8.3.2 Η περιοχή του Λιμανιού της Θεσσαλονίκης

Διακυμάνσεις στα ποσοστά σχετικών συνεισφορών παρατηρούνται και στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 20 κατά την θερμή περίοδο το μεγαλύτερο ποσοστό συνεισφοράς εμφανίζεται στα δευτερογενή σωματίδια (24%), ποσοστό που μειώνεται σημαντικά (στο 16%) κατά την ψυχρή περίοδο (Σχήμα 21). Το ποσοστό συνεισφοράς των οχημάτων παραμένει σταθερό (22%) και στις δύο περιόδους ανάλυσης. Σημαντική αύξηση εμφανίζεται στο ποσοστό συνεισφοράς της καύσης μαζούτ από τα πλοία, όπου κατά την θερμή περίοδο είναι στο 18% (Σχήμα 20) και την ψυχρή πέφτει στο 10% (Σχήμα 21). Η παρούσα διακύμανση είναι πιθανό να οφείλεται σε αυξημένη δραστηριότητα των πλοίων στην περιοχή. Το ποσοστό συνεισφοράς των καύσεων την θερμή περίοδο είναι 4%, ενώ κατά την ψυχρή φτάνει στο 16%. Η αύξηση, όπως προαναφέρθηκε, πιθανώς να οφείλεται στην χρήση της κεντρικής θέρμανσης. Εκπομπές που προέρχονται από βιομηχανική / ορυκτή πηγή έχουν ποσοστό συνεισφοράς 16% κατά την θερμή περίοδο (Σχήμα 20) και 21% κατά την ψυχρή (Σχήμα 21). Η αύξηση πιθανώς να συνδυάζεται με την όμοια αύξηση που παρατηρείται και στα ποσοστά συνεισφοράς της καύσης μαζούτ από τα πλοία, γεγονός που υποδηλώνει αυξημένη βιομηχανική δραστηριότητα. Το ποσοστό συνεισφοράς της θάλασσας παρουσιάζει μια αύξηση κατά 50% την θερμή περίοδο (6% την θερμή, 4% την ψυχρή) φαινόμενο που πιθανώς να οφείλεται στην αυξημένη ηλιοφάνεια.

### Πηγές PM2.5 Λιμάνι Θεσσαλονίκης Θερμή Περίοδος

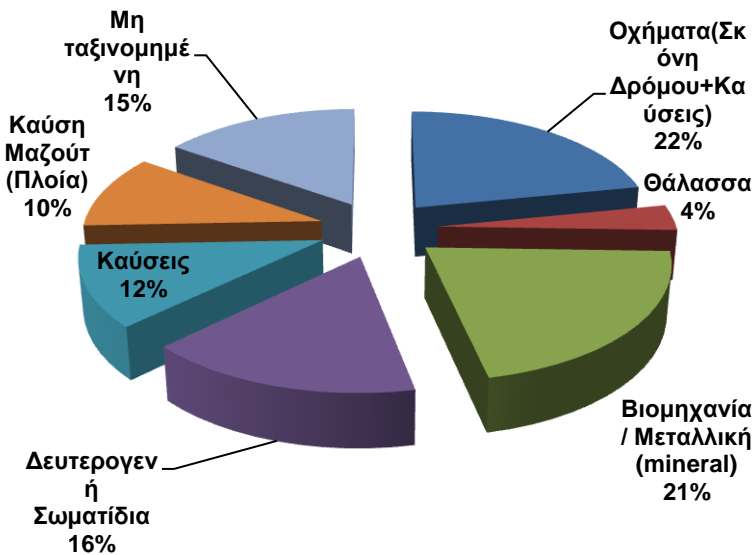


### Πηγές PM2.5 Λιμάνι Θεσσαλονίκης Θερμή Περίοδος ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

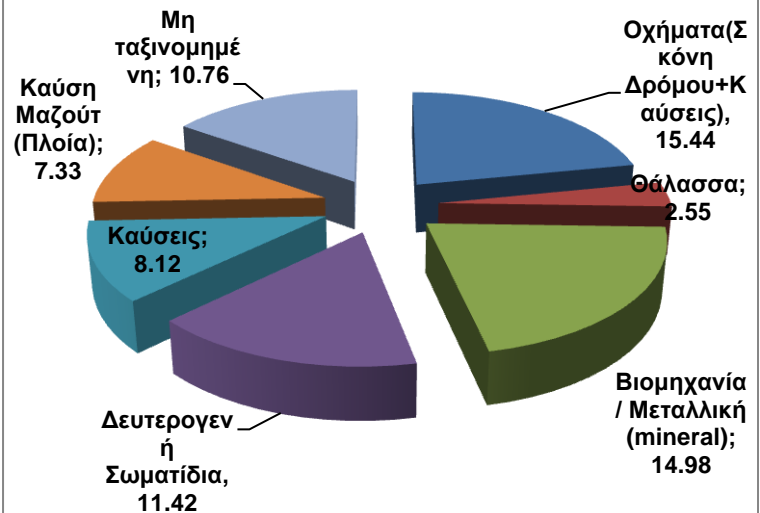


Σχήμα19α: Εποχική διακύμανση σχετικών συνεισφορών στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης, Θερμή Περίοδος

### Πηγές PM2.5 Λιμάνι Θεσσαλονίκης Ψυχρή Περίοδος



### Πηγές PM2.5 Λιμάνι Θεσσαλονίκης Ψυχρή Περίοδος ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Σχήμα19β: Εποχική διακύμανση σχετικών συνεισφορών στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης, Ψυχρή Περίοδος

## 9. Σύνοψη - Συζήτηση

Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν έναν από τους πλέον σημαντικούς παράγοντες ρύπανσης της ατμόσφαιρας των κατοικημένων περιοχών. Μεγάλες συγκεντρώσεις τους στον αέρα προκαλούν προβλήματα ορατότητας, και σε περίπτωση εισπνοής από τον άνθρωπο, είναι πιθανόν να προκαλέσουν διάφορα προβλήματα υγείας. Σε συνδυασμό με το μικρό τους μέγεθος τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να καλύψουν αποστάσεις παγκόσμιας κλίμακας και κατά αυτό τον τρόπο να παρατηρηθούν συγκεντρώσεις μολυσμένου αέρα σε περιοχές όπου δεν υπάρχει δραστηριότητα η οποία να το δικαιολογεί. Επίσης, λόγω του γεγονότος ότι για τον σχηματισμό των αιωρούμενων σωματιδίων συντελούν πολλοί παράγοντες, η γνώση της χημικής τους σύστασης αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την ταυτοποίηση της πηγής τους.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής ήταν η ανίχνευση των πηγών αιωρούμενων σωματιδίων στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. Στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος APICE, έγιναν μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>2.5</sub> σε δύο σημεία στην πόλη της Θεσσαλονίκης (μεταξύ και άλλων ευρωπαϊκών πόλεων). Τα σημεία δειγματοληψίας τοποθετήθηκαν στο κέντρο και το λιμάνι της Θεσσαλονίκης. Η δειγματοληψία διήρκησε ένα έτος και κατά τη διάρκεια της συλλέχτηκαν 322 δείγματα, 161 δείγματα από κάθε περιοχή δειγματοληψίας. Στη συνέχεια τα δείγματα αναλύθηκαν με σκοπό την εύρεση των χημικών συστατικών τους. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν συγκεντρώσεις ιόντων, μετάλλων, οργανικού και στοιχειακού άνθρακα, πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων. Οι συγκεντρώσεις των χημικών στοιχείων, στη συνέχεια, εισήχθησαν στο μοντέλο της Positive Matrix Factorization με σκοπό την εύρεση των πηγών εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων και την ποσοτική εκτίμηση των συνεισφορών τους.

Από την εφαρμογή του μοντέλου της Positive Matrix Factorization προέκυψε η ανίχνευση των παρακάτω πηγών:

- Για το *Κέντρο της Θεσσαλονίκης ανιχνεύτηκαν 6 πηγές/ομάδες πηγών:*
  1. Εκπομπές από οχήματα σχετιζόμενες με την καύση ορυκτών καυσίμων κατά τη λειτουργία τους (23.7% συνεισφορά στην μάζα των PM<sub>2.5</sub>)
  2. Εκπομπές από τη βιομηχανία (7.5% συνεισφορά στην μάζα των PM<sub>2.5</sub>)

3. Εκπομπές από την θάλασσα, τόσο από τον υδάτινο όγκο όσο και εκπομπές από τα πλοία (4.1% συνεισφορά στην μάζα των PM2.5)
  4. Εκπομπές από την επαναιώρηση της σκόνης του δρόμου (12% συνεισφορά στην μάζα των PM2.5)
  5. Εκπομπές από καύσεις (9,3% συνεισφορά στην μάζα των PM2.5)
  6. Εκπομπές από πηγή σχετιζόμενη με την δημιουργία δευτερογενών αεροζόλ (24,6% συνεισφορά στην μάζα των PM2.5)
- Για το λιμάνι της Θεσσαλονίκης ανιχνεύτηκαν 6 πηγές/ομάδες πηγών:
    1. Εκπομπές από μικτής προέλευσης πηγή, τόσο από την καύση ορυκτών καυσίμων στα οχήματα όσο και από την επαναιώρηση της σκόνης του δρόμου (22,7% συνεισφορά στην μάζα των PM2.5)
    2. Εκπομπές από την βιομηχανία / ορυκτή (mineral) (19,6% συνεισφορά στην μάζα των PM2.5)
    3. Εκπομπές από την θάλασσα (4,1% συνεισφορά στην μάζα των PM2.5)
    4. Εκπομπές από την καύση μαζούτ από τα πλοία (15,6% συνεισφορά στην μάζα των PM2.5)
    5. Εκπομπές από καύσεις (7,2% συνεισφορά στην μάζα των PM2.5)
    6. Εκπομπές από πηγή σχετιζόμενη με την δημιουργία δευτερογενών αεροζόλ (19,5% συνεισφορά στην μάζα των PM2.5)

Στο κέντρο της Θεσσαλονίκης παρουσιάζονται δύο πιθανές πηγές σχετιζόμενες με την κίνηση των οχημάτων. Η πρώτη συνδέεται με την έκλυση καυσαερίων από την λειτουργία των κινητήρων τους και η δεύτερη με την επαναιώρηση της σκόνης που αυτά προκαλούν κατά την κίνησή τους. Αντίθετα, στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης η πηγή που σχετίζεται με τα οχήματα (σκόνη δρόμων και καυσαέρια) παρουσιάζεται ως μία.

Μια πηγή που συνδυάζει θαλάσσιας προέλευσης φυσικά στοιχεία και εκπομπές από τις δραστηριότητες που πραγματοποιούνται στο λιμάνι παρουσιάζεται στο κέντρο της Θεσσαλονίκης ενώ αντίστοιχα στην περιοχή του λιμανιού η πηγή αυτή χωρίζεται σε δύο : τα φυσικά συστατικά προερχόμενα από την θάλασσα καθώς και οι εκπομπές από την καύση μαζούτ από τα πλοία. Στην περίπτωση του λιμανιού

ήταν δυνατός ο διαχωρισμός της πηγής της θάλασσας (φυσικά στοιχεία) από την καύση μαζούτ από τα πλοία. Λόγω της εγγύτητας του σημείου δειγματοληψίας σε αυτές τις πηγές η συνεισφορά στη μάζα των PM<sub>2.5</sub> εμφανίζεται μεγαλύτερη (περίπου το 16%). Οι πηγές που σχετίζονται με τις καύσεις παρουσιάζουν σημαντική εποχική διακύμανση, με εμφανή αύξηση των συνεισφορών τους κατά την διάρκεια της ψυχρής περιόδου. Κατά συνέπεια η πηγή μπορεί να συνδεθεί με την αυξημένη χρήση πετρελαίου θέρμανσης και ορυκτών καυσίμων την ψυχρή περίοδο. Λόγω των διαφορών των συνεισφορών των πηγών στα δύο σημεία δειγματοληψίας, στην περιοχή του κέντρου της Θεσσαλονίκης δεν ήταν δυνατός ο διαχωρισμός της θάλασσας σε φυσικά στοιχεία και τις δραστηριότητες του λιμανιού. Αντίθετα στο λιμάνι η ομάδα πηγών της θάλασσας διαχωρίστηκε σε δύο περαιτέρω πηγές, μια προερχόμενη από τα φυσικά συστατικά της θάλασσας και μια προερχόμενη από τις δραστηριότητες στο λιμάνι και πιο συγκεκριμένα την καύση μαζούτ από τα πλοία. Σημαντική πηγή εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων αποτελούν και τα οχήματα και είναι αξιοσημείωτη η σταθερότητα των συνεισφορών τους και στις δύο περιόδους δειγματοληψίας (θερμή και ψυχρή) τόσο στο κέντρο όσο και στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης

Παρά το γεγονός πραγματοποίησης της δειγματοληψίας στην ίδια πόλη (η ευθεία απόσταση μεταξύ των δειγματοληπτικών είναι περίπου 10 χιλιόμετρα) το μοντέλο της Positive Matrix Factorization κατά την εφαρμογή του υπέδειξε σχεδόν τις ίδιες πηγές για τις δύο περιοχές, αλλά με διαφορετική ποσοτική συνεισφορά στις μετρούμενες συγκεντρώσεις.

Η επιβάρυνση του ανθρώπου στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον είναι αρκετά σημαντική. Οι δραστηριότητες οι οποίες εκτελούμε σημαντικά έχουν μεγάλο ποσοστό συνεισφοράς στην αέρια ρύπανση. Είναι στο χέρι μας η αξιοποίηση των σύγχρονων τεχνολογικών επιτευγμάτων για την μείωση της αρνητικής επίπτωσης των δραστηριοτήτων μας, και γνωρίζοντας και ποσοτικά τις επιπτώσεις, σχεδόν, κάθε τομέα έχουμε την δυνατότητα να τις μειώσουμε με το λιγότερο δυνατό κόστος.



## Βιβλιογραφία

1. Paatero P (1997) Least squares formulation of robust non-negative factor analysis. *Chemometr. Intelligent Lab. Syst.* 6037: 23-35
2. Paatero P. and Tapper U Analysis of different modes of factor analysis as least squares fit Problems, *Chemom, Intell. Lab. Syst.* 18Q183-194.
3. Polissar A.V., P.K Hopke, WC. Malm, J.F Sisler. Atmospheric Aerosol over Alaska: 2. Elemental Composition and Sources, *J.Geophys. Res.* 103: 19. 045-19;057.
4. Hopke PK, K. Ito, T. Mar, W.F. Christensen, D.J. Eatough and R.C. Henry et al. (2006) PM source apportionment and health effects: 1. Intercomparison of source apportionment results, *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 16, 275–286
5. M. Pilou, D. Saraga, S. Tsangaris, C. Vasilakos and C. Housiadas. Particle deposition in the lung during domestic activities. *International Aerosol Conference 2010, Helsinki, 29th August-3rd September 2010.*
6. Lee E, Chun CK and Paatero P (1999) Application of positive matrix factorization in source apportionment of particulate pollutants in Hong Kong. *Atmospheric Environment* 33: 3201–3212
7. Ho, K.F., J.J. Cao, Roy M. Harrison, S.C. Lee, K.K. Bau (2004) Indoor/outdoor relationships of organic carbon (OC) and elemental carbon (EC) in PM<sub>2.5</sub> in roadside environment of Hong Kong. *Atmospheric Environment* 38, 6327-6335.
8. Jones N.C., Thornton C.A., Mark D., Harrison R.M. (2000) Indoor/outdoor relationships of particulate matter in domestic homes with roadside, urban and rural locations. *Atmospheric Environment* 34, 2603-2612.
9. Kong Shaofei, Han Bin, Bai Zhipeng, Chen Li, Shi Jianwu, Xu Zhun (2010) Receptor modeling of PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> and TSP in different seasons and long-range transport analysis at a coastal site of Tianjin, China. *Science of the Total Environment* 408, 4681-4694.
10. Kwansgam Na, Sawant Aniket A., Song Chen, Cocker David R. (2004) Primary and secondary carbonaceous species in the atmosphere of Western Riverside County, California. *Atmospheric Environment* 38, 1345-1355.

11. Lonati Giovanni, Giugliano Michele, Butelli Paola, Romele Laura, Tardivo Ruggero (2005) Major chemical components of PM<sub>2.5</sub> in Milan (Italy). Atmospheric Environment 39, 1925-1934.
12. Lonati G., Ozgen S. (2007) Primary and secondary carbonaceous species in PM<sub>2.5</sub> samples in Milan (Italy). Atmospheric Environment 41, 4599-4610.
13. Tsitouridou R., Voutsas D., Kouimtzis Th. (2003) Ionic composition of PM<sub>10</sub> in the area of Thessaloniki, Greece. Chemosphere 52, 883-891.
14. Wang Xinhua, Bi Xinhui, Sheng Guoying, Fu Jiamo (2006) Chemical composition and sources of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> aerosols in Guangzhou, China. Environment Monitoring and Assessment 119: 425-439.
15. Χρυσουλάκης Γ , Παντελής Δ. Επιστήμη και Τεχνολογία των Μεταλλικών Υλικών (1996)
16. E. Terzia, G. Argyropoulos, A. Bougatioti, N. Mihalopoulos, K. Nikolaou, C. Samara (2010) Chemical composition and mass closure of ambient PM<sub>10</sub> at urban sites
17. H. Bardoukia, H. Liakakoua, C. Economoua, J. Sciareb, J. Smolik, V. Zdimal, K. Eleftheriadis, M. Lazaridis, C. Dyef, N. Mihalopoulos (2002) Chemical Composition of size resolved atmospheric aerosols in the eastern Mediterranean during summer and winter
18. Kwangsam Na, Aniket A. Sawant, Chen Song, David R. Cocker III (2003) Primary and secondary carbonaceous species in the atmosphere of western Riverside County, California
19. Primary and secondary carbonaceous species in PM<sub>2.5</sub> samples in Milan (Italy)

<http://www.epa.gov/heads/products/pmf/pmf.html>

<http://www.apice-project.eu/>

<http://www.thpa.gr/>

<http://web.archive.org/web/20070827030846/http://www.ldaint.org/information.htm>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Vanadium>