



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

---

**Επίδραση καύσεων γεωργικών υπολειμμάτων στη συγκέντρωση των  
αιωρούμενων σωματιδίων σε αγροτική περιοχή του νομού Χανίων.**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μαρία Γεωργία Χαλδαίου

Ιανουάριος 2024

Χανιά



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Επίδραση καύσεων γεωργικών υπολειμμάτων στη συγκέντρωση των αιωρούμενων  
σωματιδίων σε αγροτική περιοχή του νομού Χανίων.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
Μαρία Γεωργία Χαλδαίου

Επιτροπή:  
Βουλγαράκης Απόστολος  
Λαζαρίδης Μιχάλης  
Χατουτσίδου Σοφία Ειρήνη

Ιανουάριος 2024

## Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών της σχολής Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Θα ήθελα πρώτα από όλα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Βουλγαράκη που από την πρώτη στιγμή με εμπιστεύτηκε για την εργασία και με την πολύτιμη βοήθεια του κατάφερα να την βγάλω εις πέρας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω επίσης στην κα. Χατουτσίδου για την άψογη καθοδήγηση της, τις άμεσες απαντήσεις της σε όποιο ζήτημα και εάν προέκυπτε, την υπομονή της και την εμπιστοσύνη της.

Αφιερώνω την διπλωματική στην οικογένεια μου για την στήριξη τους, στην Μελίνα του τώρα και στην πρωτοετή Μελίνα του 2016 που δεν πίστευε στον εαυτό της.

.

## Περίληψη

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν να μελετηθεί πόσο επηρεάστηκε η ατμόσφαιρα μιας καθορισμένης περιοχής από τις καύσεις γεωργικών υπολειμμάτων. Οι μετρήσεις έλαβαν χώρα στην ημιαστική περιοχή της Κρήτης την Επισκοπή Αγυιάς Χανίων. Η επιλογή της περιοχής έγινε λόγω ιδανικής τοποθεσίας, σημείο πολύ κοντά σε σπίτια και σε εκτάσεις καλλιεργήσιμης γης. Στην Επισκοπή τοποθετήθηκε το όργανο DustTrakII καταμέτρησης των συγκεντρώσεων των σωματιδίων  $PM_{10}$  σε χρονική περίοδο κατά την οποία επιτρεπόντουσαν οι καύσεις γεωργικών υπολειμμάτων.

Οι μετρήσεις διήρκησαν συνολικά 36 ημέρες και χωρίστηκαν σε τέσσερις δειγματοληψίες, οι οποίες ήταν οι εξής: 24.3.2022-29.3.2022, 2.4.2022-9.4.2022, 10.4.2022-20.4.2022 και 24.4.2022-4.5.2022. Το όργανο βρισκόταν τοποθετημένο σε ύψος περίπου τεσσάρων μέτρων από το έδαφος. Από την ανάλυση των δεδομένων βρέθηκε ότι για την 1<sup>η</sup> περίοδο δειγματοληψίας η μέγιστη τιμή των  $PM_{10}$  ήταν  $48.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  και η μικρότερη  $12.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , για την δεύτερη δειγματοληψία μέγιστη και ελάχιστη τιμή των  $PM_{10}$  ήταν 61.6 και  $7.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  αντίστοιχα, στην τρίτη δειγματοληψία μέγιστη τιμή ήταν τα  $44.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ενώ ελάχιστη τα  $7.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , τέλος για την τέταρτη δειγματοληψία μετρήθηκε ως μεγαλύτερη τιμή αιωρούμενων σωματιδίων τα  $22.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  και μικρότερη τα  $7.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Παράλληλα, οι μετρήσεις από την Επισκοπή συγκρίθηκαν με μετρήσεις  $PM_{10}$  από το σταθμό του Ακρωτηρίου που βρίσκεται εντός του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η μάζα των  $PM_{10}$  μετρήθηκε με έναν αναλυτή βήτα ακτινοβολίας (SHARP 5030i). Η πρώτη δειγματοληψία είχε μέγιστη και ελάχιστη τιμή  $86.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  και  $15.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  αντίστοιχα, η δεύτερη είχε  $533.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $5.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  αντίστοιχα, η τρίτη είχε  $129.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  αντίστοιχα και τέλος η τέταρτη  $87.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  και  $4.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά την διάρκεια των μετρήσεων υπήρξε κύμα Αφρικανικής σκόνης και γι' αυτό το λόγο οι τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων σε ορισμένες περιπτώσεις ήταν αρκετά υψηλές, όπως κατά την διάρκεια της 2<sup>ης</sup> δειγματοληψίας και στις δύο περιοχές μελέτης όπου μετρήθηκαν  $61.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  στην Επισκοπή και  $533.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  στο Ακρωτήρι ως μέγιστες τιμές. Άλλες πιθανές πηγές που ενδέχεται να επηρέασαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων ήταν τα σωματίδια λόγω εκπομπών οχημάτων από την κίνηση στους δρόμους της περιοχής, το πιθανό άναμμα τζακιών κ.α.. Τα αιωρούμενα σωματίδια σε κάθε περιοχή ξεχωριστά ήταν σε ορισμένες μετρήσεις σε υψηλά επίπεδα. Ωστόσο για την βασική περιοχή μελέτης που ήταν η Επισκοπή δεν συναντήθηκαν υψηλές τιμές  $PM_{10}$  συχνά,

οπότε θεωρήθηκε ότι δεν είχαμε συστηματική επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Για την ευκολότερη ανάλυση των δεδομένων θεωρήθηκε επίσης ότι ένα φαινόμενο καύσης γεωργικών υπολειμμάτων μπορούσε να διαρκέσει έως και 2,5 ώρες από το πρωί έως το απόγευμα, αποκλείοντας τις βραδινές ώρες στις οποίες δεν ευδοκιμούν οι αγροτικές εργασίες. Έτσι συνολικά στην Επισκοπή υπήρξαν 16 καύσεις οι περισσότερες από αυτές την τρίτη περίοδο δειγματοληψίας από τις 6:30 έως 9:00 π.μ. Οι καύσεις ταυτοποιήθηκαν καθώς κατά μέσο όρο μιας ώρας έγιναν απότομες αυξήσεις των τιμών των  $PM_{10}$  με μεγαλύτερη την αύξηση των  $PM_{10}$  που άγγιξε το ποσοστό του 277%. Επιπλέον, τις βραδινές ώρες παρατηρήθηκε άνοδος των συγκεντρώσεων που δεν οφειλόταν σε καύσεις γεωργικών υπολειμμάτων αλλά στην επίδραση που έχει η μείωση του οριακού στρώματος της ατμόσφαιρας με παράλληλη εξασθένηση των ανέμων. Η σύγκριση των δύο περιοχών έδειξε ότι οι τιμές των  $PM_{10}$  χαρακτηρίστηκαν από διαφορετική μεταβλητότητα λόγω διαφορετικής τοποθεσίας. Παραδείγματος χάρη στην 2<sup>η</sup> δειγματοληψία κυμάνθηκαν από  $5.7 \mu g/m^3$  έως  $533.7 \mu g/m^3$ , ενώ για την αντίστοιχη δειγματοληψία στην Επισκοπή οι τιμές κυμάνθηκαν από  $7.7 \mu g/m^3$  έως  $61.6 \mu g/m^3$ . Τέλος από την σύγκριση των μετεωρολογικών δεδομένων με τη μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων φάνηκε ότι οι μετρήσεις κατά περίπτωση εμφανίζουν συσχέτιση με τα δεδομένα των μετρήσεων.

Συμπερασματικά τα αποτελέσματα έδειξαν μία τοπική επιβάρυνση στη συγκέντρωση των  $PM_{10}$  λόγω των καύσεων των γεωργικών υπολειμμάτων. Η σημαντική αύξηση των συγκεντρώσεων κατά τη διάρκεια φαινομένων μεταφοράς Αφρικανικής σκόνης αποτέλεσε περιοδική πηγή αύξησης των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων.

## Abstract

The aim of this thesis was to investigate the impact from burning of agricultural residue on PM<sub>10</sub> concentrations in a rural area outside the city of Chania. Measurements took place at Episkopi, Agyia (Chania, Crete). The choice of this location was due to its ideal location, being very close to areas with intense agricultural activity. A Dust Trak II instrument was used for measuring PM<sub>10</sub> concentration during a period when agricultural residue burning was allowed.

The measurements lasted for a total duration of 36 days and were divided into four sampling periods, which are the following: 24.3.2022-29.3.2022, 2.4.2022-9.4.2022, 10.4.2022-20.4.2022 και 24.4.2022-4.5.2022. The instrument was placed at a location approximately four meters above the ground. Data analysis has shown that during the first sampling period, the maximum value of PM<sub>10</sub> was 48.5 µg/m<sup>3</sup> and the minimum was 12.5 µg/m<sup>3</sup>. For the second sampling period, the maximum and minimum PM<sub>10</sub> values were 61.6 and 7.7 µg/m<sup>3</sup>, respectively. In the third sampling period, the maximum value was 44.2 µg/m<sup>3</sup>, while the minimum was 7.7 µg/m<sup>3</sup>. Finally, for the fourth sampling period, the highest measured value of PM<sub>10</sub> particles was 22.4 µg/m<sup>3</sup>, and the lowest was 7.3 µg/m<sup>3</sup>.

In parallel, the measurements from Episkopi were compared to PM<sub>10</sub> measurements from Akrotiri station which is located inside the campus of the Technical University of Crete. Mass concentrations of PM<sub>10</sub> in the Akrotiri station was measured with a Beta attenuation monitor (SHARP 5030i instrument). In the first sampling period, the maximum and minimum values were 86.7 µg/m<sup>3</sup> and 15.2 µg/m<sup>3</sup>, respectively. The second sampling period had values of 533.6 µg/m<sup>3</sup> and 5.7 µg/m<sup>3</sup>, the third had values of 129.9 µg/m<sup>3</sup> and 1.6 µg/m<sup>3</sup>, and the fourth had values of 87.9 µg/m<sup>3</sup> and 4.2 µg/m<sup>3</sup>, respectively. It is worth noting that during the measurement period, Saharan dust events took place, which caused a significant increase in the measured particle concentrations, during the second sampling period at both areas, maximum values of 61.5 µg/m<sup>3</sup> were recorded in Episkopi and 533.6 µg/m<sup>3</sup> in Akrotiri. Other possible sources that may have influenced the measured concentrations was traffic from nearby streets and the possible use of fireplaces for heating purposes. It was observed that suspended particles in each area individually, were at high levels. However, for the main study area, which was Episkopi, high PM<sub>10</sub> values were not frequently observed therefore no significant burden of the environment was revealed. For easier data analysis, it was also considered that a phenomenon of burning agricultural residue could last up to 2.5 hours. Thus,

a total of 16 burnings were recorded in Episkopi, most of them occurring in the third sampling period from 6:30 to 9:00 pm. Combustion activities were identified as there were sharp increases in PM<sub>10</sub> values on an average of one hour with the largest increase in PM<sub>10</sub> reaching a value of 123.5%. In addition, during evening hours there was a rise in concentrations that was not due to burning agricultural residues but due to the boundary layer reduction together with the impact from wind weakening. The comparison between the two study areas indicated that PM<sub>10</sub> concentrations varied independently. For example, in the 2nd sampling they ranged from 5.7 µg/m<sup>3</sup> to 533.7 µg/m<sup>3</sup>, while as far as the corresponding sampling in Episkopi is concerned the values ranged from 7.7 µg/m<sup>3</sup> to 61.6 µg/m<sup>3</sup>. Finally, from the comparison of the meteorological data with PM<sub>10</sub>, it was found that the measurements on a case-by-case basis show correlation with the meteorological data.

In conclusion, the results show a localized increase in PM<sub>10</sub> concentration due to burning of agricultural residues. The significant aerosol increases appeared to be more intense during the development of the African dust phenomenon, which was, however, a periodic source of particle increase.

.



## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	5
Εισαγωγή.....	11
Βασική ορολογία – Συντομογραφίες.....	13
Κεφάλαιο 1:.....	14
Ατμόσφαιρα, αιωρούμενα σωματίδια, καύσεις γεωργικών υπολειμμάτων και αφρικανική σκόνη.....	14
1.1 Ατμόσφαιρα .....	14
1.1.1 Στρώματα της ατμόσφαιρας.....	15
1.1.2 Ατμοσφαιρική Ρύπανση .....	17
1.1.3 Διαβάθμιση ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	20
1.1.4 Φαινόμενα που ενισχύονται λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης .....	21
1.2 Αιωρούμενα Σωματίδια.....	24
1.2.1 Ορισμός αιωρούμενων σωματιδίων .....	24
1.2.2 Μέγεθος και σχήμα αιωρούμενων σωματιδίων .....	25
1.2.3 Χημική σύσταση αιωρούμενων σωματιδίων.....	27
1.2.4 Πυκνότητα και συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων.....	27
1.2.5 Βασικές κατανομές αιωρούμενων σωματιδίων .....	28
1.2.6 Πηγές αιωρούμενων σωματιδίων .....	31
1.2.7 Επιπτώσεις αιωρούμενων σωματιδίων.....	34
1.2.7.1 Επιπτώσεις στην φύση .....	34
1.2.7.2 Επιπτώσεις στην άνθρωπο και στην υγεία .....	35
1.3 Καύσεις γεωργικών υπολειμμάτων .....	36
1.4 Επιπτώσεις περιβαλλοντικών καύσεων .....	38
1.5 Αφρικανική σκόνη .....	38
1.6 Μέτρα προστασίας από την ατμοσφαιρική ρύπανση .....	40
Κεφάλαιο 2: Περιγραφή περιοχής μελέτης και οργάνων δειγματοληψιών.....	42
2.1 Περιγραφή περιοχής μελέτης.....	42
2.1.1 Επισκοπή .....	42
2.1.2 Ακρωτήριο .....	42
2.2.1 Περιγραφή οργάνου DustTrakII.....	43
2.2.2 Περιγραφή οργάνου SHARP .....	45

2.3 Μετεωρολογικά δεδομένα .....	47
2.4 Μοντέλο HYSPLIT .....	48
Κεφάλαιο 3: Ανάλυση δεδομένων .....	49
3.1 Συγκεντρώσεις PM <sub>10</sub> .....	49
3.2 Σύγκριση με σταθμό Ακρωτηρίου .....	52
3.3 Καύσεις γεωργικών υπολειμμάτων .....	54
3.4 Φαινόμενο μεταφοράς Αφρικανικής σκόνης. ....	56
3.5 Ωριαίες διακυμάνσεις .....	58
3.6 Συσχέτιση αιωρούμενων σωματιδίων με μετεωρολογικά δεδομένα .....	60
Αποτελέσματα-Συμπεράσματα .....	63
Βιβλιογραφία .....	65

## Εισαγωγή

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο πλανήτης. Το ζήτημα της απασχολεί την ανθρωπότητα καθώς τα τελευταία χρόνια έχει λάβει ανησυχητικές διαστάσεις. Η βιομηχανική παραγωγή, οι μεταφορές, η ενέργεια και πολλοί άλλοι τομείς έχουν δεχθεί σημαντικές αλλαγές και εξελίξεις λόγω του ζητήματος. Αυτές οι εξελίξεις έχουν επιφέρει πολλά οφέλη για τον άνθρωπο καθώς τον διευκολύνουν σε καθημερινές δραστηριότητες, συμβάλλοντας στην ευημερία του. Ωστόσο η ανάπτυξη αυτή έχει και αρνητικές πτυχές, μία από τις πιο σημαντικές είναι η αύξηση των αέριων εκπομπών και σωματιδίων που προκαλούν τη σύγχρονη ατμοσφαιρική ρύπανση.

Το πότε ακριβώς ξεκίνησε η ατμοσφαιρική ρύπανση ως πρόβλημα δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί χρονικά, καθώς το φαινόμενο έχει εξελιχθεί σταδιακά. Οι πρώτες αναφορές σχετικά με αυτό χρονολογούνται, από τότε που η χρήση καύσιμων για θέρμανση και ενέργεια προκαλούσαν την εκπομπή των πρώτων καυσαερίων στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο, η βιομηχανική επανάσταση αποτέλεσε κρίσιμο σημείο αναφοράς της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η χρήση άνθρακα ήταν εξαιρετικά διαδεδομένη, ενώ η κυκλοφορία οχημάτων έγινε πιο έντονη και φυσικά, οι εκπομπές από βιομηχανικές εγκαταστάσεις αυξήθηκαν (Γεντεκάκης Ι.,2010).

Στα χρόνια που ακολούθησαν το ζήτημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης άρχισε να γίνεται όλο ένα και πιο περίπλοκο αλλά και εμφανές. Αυτό συνέβη εξαιτίας της αύξησης της βιομηχανικής παραγωγής, σε συνδυασμό με τα περισσότερα οχήματα που άρχισαν να γίνονται αναπόσπαστο μέρος της καθημερινής ζωής του ανθρώπου. Επίσης έκαναν την εμφάνισή τους οι χημικές βιομηχανίες, οι καύσεις από φυσικά ή ανθρώπινα αίτια κ.α. (Ζάνης Π.,2013). Όλα τα παραπάνω προκάλεσαν την ανάγκη για προστασία του περιβάλλοντος. Όμως η στιγμή που άρχισε να θεωρείται απαραίτητη η λήψη μέτρων κατά της εξάπλωσης του φαινομένου ήταν το 1955 στο Λονδίνο όπου το φαινόμενο της αιθαλομίχλης έκανε τους επιστήμονες παγκοσμίως να ανησυχήσουν για τις διαστάσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Από τότε έως και σήμερα η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί ένα παγκόσμιο πρόβλημα που επηρεάζει όλους του ανθρώπους στον πλανήτη (Γεντεκάκης Ι.,2010). Η ατμοσφαιρική ρύπανση είτε προέρχεται από φυσικές είτε από ανθρωπογενείς πηγές επηρεάζει σοβαρά το περιβάλλον. Μερικές από τις επιπτώσεις είναι η επιβάρυνση των υδάτων και των εδαφών, η αύξηση της θερμοκρασίας της γης και η δημιουργία αναπνευστικών προβλημάτων στον

άνθρωπο. Άρα γίνεται αντιληπτό ότι η ανάλυση των αιτιών και των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχει μεγάλη βαρύτητα για την κατανόηση του προβλήματος και για την ανάπτυξη αποτελεσματικών μέτρων πρόληψης.

Λόγω όλων των παραπάνω και της προσωπικής ανησυχίας για την ποιότητα ζωής που έχουν πλέον οι άνθρωποι στον πλανήτη διεξήχθη αυτή η διπλωματική εργασία. Αντικείμενο μελέτης αποτέλεσε το πόσο επηρεάζουν οι καύσεις γεωργικών υπολειμμάτων τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων που είναι μια από τις βασικές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Συγκεκριμένα στην Κρήτη οι γεωργικές εκτάσεις που χρησιμοποιούνται για καλλιέργεια προϊόντων είναι τεράστιες. Εξίσου μεγάλες είναι και οι ποσότητες γεωργικών υπολειμμάτων που δημιουργούνται και εν συνεχεία καίγονται. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη για περεταίρω έρευνα με στόχο να μελετηθεί πόσο και αν επηρεάζεται η ατμόσφαιρα από την καύση τους μέσω των αιωρούμενων σωματιδίων που εκλύονται σε εκείνη. Μελετώντας τις επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων που εκλύονται από τις καύσεις των γεωργικών υπολειμμάτων γίνεται καλύτερα κατανοητή η συνεισφορά του στη συνολική ατμοσφαιρική ρύπανση.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζεται η βασική θεωρία και περιλαμβάνει στοιχεία για την ατμόσφαιρα, την ατμοσφαιρική ρύπανση, τα αιωρούμενα σωματίδια, τις καύσεις των γεωργικών υπολειμμάτων και την Αφρικανική σκόνη. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις περιοχές μελέτης των μετρήσεων και των οργάνων μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν. Το Κεφάλαιο 3 αφιερώνεται στην ανάλυση των δεδομένων για κάθε περιοχή μελέτης ξεχωριστά, σύμφωνα με τα δεδομένα των μετρήσεων και των μετεωρολογικών δεδομένων. Τέλος, αναλύθηκαν τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα.

## **Βασική ορολογία – Συντομογραφίες.**

$D_m$ : διάμετρος ισοδύναμης μάζας

$D_a$ : αεροδυναμική διάμετρος

$D_s$ : αεροδυναμική διάμετρος Stokes

$D_b$ : διάμετρος ισοδύναμης ηλεκτρικής κινητικότητας

$D_{th}$ : Θερμοδυναμική ισοδύναμη διάμετρος

$D_p$ : ισοδύναμη διάμετρος

$N_t$  : η ολική συγκέντρωση των σωματιδίων

$D_{pg}$  : η γεωμετρική μέση διάμετρος,

$\sigma_g$  : η γεωμετρική μέση τυπική απόκλιση

$n_i$ : το πλήθος των σωματιδίων που βρίσκονται σε διάμετρο  $D_p$

$i$  και  $N$ :συνολικό πλήθος των σωματιδίων.

Για την παρούσα διπλωματική εργασία είχε θεωρηθεί ότι οι όροι αιωρούμενα σωματίδια και αεροζόλ είναι ταυτόσημοι.

## **Κεφάλαιο 1:**

### **Ατμόσφαιρα, αιωρούμενα σωματίδια, καύσεις γεωργικών υπολειμμάτων και αφρικανική σκόνη**

#### **1.1 Ατμόσφαιρα**

Ατμόσφαιρα της γης είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για το στρώμα αερίων που περικλείει την γη και συμμετέχει στις κινήσεις της. Μέσω της βαρυτικής της δύναμης συγκρατεί κοντά στην επιφάνεια της μείγμα αερίων από το οποίο αποτελείται η ατμόσφαιρα δηλαδή τον ατμοσφαιρικό αέρα (Λαζαρίδης Μ.,2010). Ο ατμοσφαιρικός αέρας εξαιτίας της συμπίεσης του εμφανίζεται πιο πυκνός στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας σε σύγκριση με τα υψηλότερα, δηλαδή η πυκνότητα του μεταβάλλεται με το ύψος και αντίστροφα. Ο ατμοσφαιρικός αέρας έχει δύο βασικές πηγές προέλευσης είτε προέρχεται από χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα εντός της ατμόσφαιρας είτε προέρχεται από την γη και εισέρχεται στην ατμόσφαιρα, όπως για παράδειγμα τα αέρια από εκρήξεις ηφαιστειών (Φωτιάδη Α.).

Ο ξηρός ατμοσφαιρικός αέρας είναι ένα από τα τρία βασικά συστατικά σύνθεσης της κατώτερης ατμόσφαιρας της γη, ενώ, υδρατμοί και ατμοσφαιρικά αιωρήματα είναι τα δύο επόμενα βασικά συστατικά της. Ξηρός είναι ο αέρας που δεν έχει καμία ποσότητα υδρατμών η οποιουδήποτε μεγέθους σωματιδίων. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.1 τα κύρια συστατικά του είναι το άζωτο ( $N_2$ ) και το οξυγόνο ( $O_2$ ) καθώς αποτελούν το 78.08% και το 20.95% του συνολικού ποσοστού αντίστοιχα. Εκτός από τα αέρια που φαίνονται στον Πίνακα 1.1 (αργό, διοξείδιο του άνθρακα, νέο, ήλιο, μεθάνιο, κρυπτό, υποξείδιο του αζώτου, υδρογόνο, ξένο και όζον) ο ξηρός ατμοσφαιρικός αέρας παρουσιάζει σε πολύ μικρές ποσότητες και τα παρακάτω: οξείδια του αζώτου ( $NO$ ,  $N_2O_5$ ,  $NO_2$ ), διοξείδιο του θείου ( $SO_2$ ), μονοξείδιο του άνθρακα ( $CO$ ), υπεροξείδιο του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ), αμμωνία ( $NH_3$ ), νιτρικό οξύ ( $HNO_3$ ),θειϊκό οξύ ( $H_2SO_4$ ), ραδόνιο ( $Rn$ ) και ιώδιο ( $I_2$ ) (Λαζαρίδης Μ.,2010). Οι υδρατμοί έχουν ιδιαίτερη σημασία καθώς από την συμπύκνωση τους δημιουργούνται τα νέφη και στην συνέχεια δημιουργούνται φαινόμενα όπως βροχή, χιόνι κ.α. με τα οποία ασχολείται η επιστήμη της μετεωρολογίας. Για τα αιωρούμενα σωματίδια θα γίνει εκτενής αναφορά στη συνέχεια της παρούσας διπλωματικής.

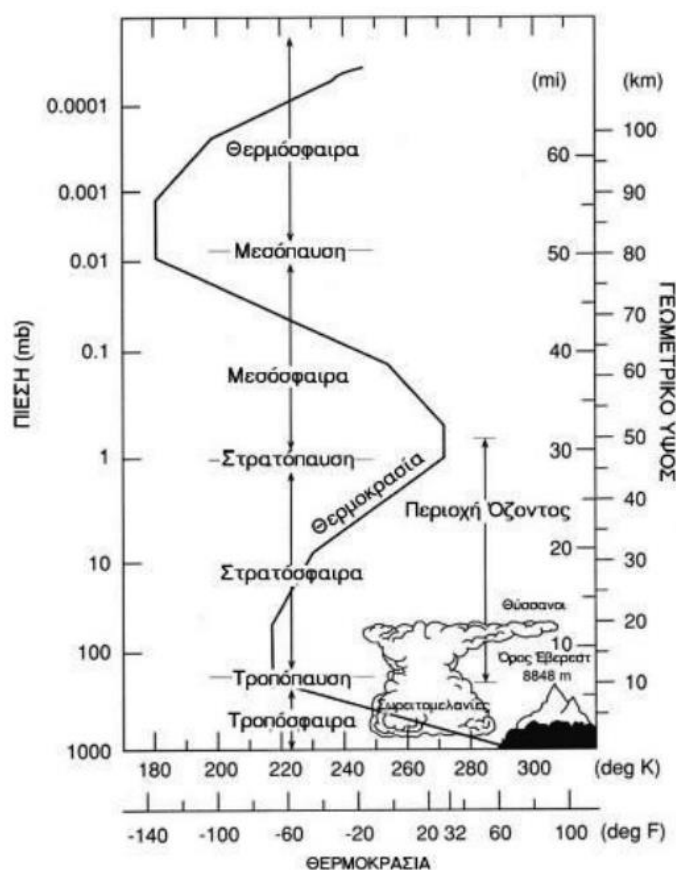
Πίνακας 1.1: Σύσταση ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα. (Λαζαρίδης Μ.,2010).

Ονομασία Αερίου	Σύμβολο	Περιεκτικότητα		Πυκνότητα σε $\text{g/m}^3$	Μοριακό βάρος	Κρίσιμη Θερμοκρασία	Μέση Μοριακή ταχύτητα σε $0^\circ\text{C}$
		Κατ' όγκο	Κατά βάρος				
Αζωτο	$\text{N}_2$	78,08	75,51	1250	28,016	-147,2	454 m/sec
Οξυγόνο	$\text{O}_2$	20,95	23,14	1429	32,000	-118,9	425 m/sec
Αργό	Ar	0,93	1,3	1786	39,944	-122,0	380 m/sec
Διοξ. Άνθρακα	$\text{CO}_2$	0,03	~0,5	1977	44,010	31,0	362 m/sec
Νέο	Ne	$18,18 \times 10^{-4}$	$120 \times 10^{-5}$	900	20,183	-228,0	-
Ήλιο	He	$5,24 \times 10^{-4}$	$8,10^{-5}$	178	4,003	-258,0	1202 m/sec
Μεθάνιο	$\text{CH}_4$	$\sim 2,2 \times 10^{-4}$	-	717	16,04	-	-
Κρυπτό	Kr	$1,14 \times 10^{-4}$	$29,10^{-5}$	3736	83,7	-63,0	-
Υποξειδ. Αζώτου	$\text{N}_2\text{O}$	$(0,5 \pm 0,1) \times 10^{-4}$	-	1978	44,016	-	-
Υδρογόνο	$\text{H}_2$	$\sim 0,5 \times 10^{-4}$	$0,35 \times 10^{-5}$	90	2,016	-239,0	1700 m/sec
Ξένο	Xe	$0,087 \times 10^{-4}$	$3,6 \times 10^{-5}$	5891	131,3	16,6	-
Οζόν	$\text{O}_3$	$(0-0,07) \times 10^{-4}$ έως $(1-3) \times 10^{-4}$	$\sim 0,17 \times 10^{-5}$	2140	48,0	5,0	-

### 1.1.1 Στρώματα της ατμόσφαιρας

Στο κατώτερο στρώμα της Γης όπως φαίνεται και από την Εικόνα 1.1 βρίσκεται η τροπόσφαιρα όπου εκτείνεται έως τα 10-15 km από την επιφάνεια της ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή του έτους της περιοχής. Παρατηρείται μείωση της θερμοκρασίας και της πυκνότητας με το ύψος, συγκεκριμένα η θερμοκρασία μπορεί μειωθεί έως και  $6.5^\circ\text{C}$  ανά χιλιόμετρο. Στην τροπόσφαιρα βρίσκεται το 75 με 80% της συνολικής μάζας της ατμόσφαιρας, εκεί λαμβάνουν χώρα σχεδόν όλα τα καιρικά φαινόμενα που μας απασχολούν καθημερινά. Ανάμεσα στην τροπόσφαιρα και την στρατόσφαιρα υπάρχει η τροπόπαυση που αποτελεί την ενδιάμεση ζώνη των δύο αυτών στρωμάτων. Η στρατόσφαιρα εκτείνεται μέχρι το ύψος των 45 -55 km. Σε υψόμετρα που ανήκουν στην στρατόσφαιρα, παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας με το ύψος λόγω της ύπαρξης του στρώματος του όζοντος που απορροφά έντονα την υπεριώδη ακτινοβολία και έτσι θερμαίνει το

ατμοσφαιρικό περιβάλλον. Αυτή η αύξηση δημιουργεί μια σταθερή ατμόσφαιρα, στην οποία οι διαφορές στην κάθετη ανάμιξη είναι πολύ μικρές. Ανάμεσα στην στρατόσφαιρα και την επόμενη ζώνη την μεσόσφαιρα υπάρχει η στρατόπαυση. Η μεσόσφαιρα εκτείνεται σε υψόμετρα που φτάνουν από τα 80 έως τα 90 km. Η θερμοκρασία της μειώνεται καθώς ανεβαίνει υψομετρικά. Στο υψηλότερο σημείο της ζώνης βρίσκεται η μεσόπαυση η οποία χωρίζει την μεσόσφαιρα από την επόμενη ζώνη την θερμόσφαιρα και φαίνεται πως είναι η ψυχρότερη ζώνη με έντονη ανάμιξη αέριων μαζών.



Εικόνα 1.1.: Στρώματα της ατμόσφαιρας (Λαζαρίδης Μ.,2010).

Η θερμόσφαιρα έχει την ικανότητα να απορροφά ακτινοβολία από το οξυγόνο και το άζωτο λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών της. (Γεντεκάκης Ι.,2010) Μετά την θερμόσφαιρα ακολουθεί η εξώσφαιρα που εκτείνεται στα 400-500km. Στην εξώσφαιρα τα μόρια δεν έλκονται πλέον από τις βαρυτικές δυνάμεις της γης καθώς έχουν αναπτύξει την δική τους κινητική ενέργεια (Χατουσιδίου Σ., 2010)



### 1.1.2 Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Το ζήτημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης τα τελευταία χρόνια απασχολεί όλο και περισσότερο την επιστημονική κοινότητα. Ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η προσθήκη κάθε υλικού, αέριας ή σωματιδιακής φύσης, στην ατμόσφαιρα που μας περιβάλλει, όπου θα έχει σαν αποτέλεσμα τη βραχυπρόθεσμη ή μακροπρόθεσμη δηλητηρίαση της ζωής πάνω στον πλανήτη (Γεντεκάκης Ι.,2010), αλλά και την αλλοτρίωση της δομής, σύστασης και των χαρακτηριστικών της ατμόσφαιρας (Υπουργείο εργασίας πρόνοιας και κοινωνικών ασφαλίσεων, 2014). Ακριβής χρονικός προσδιορισμός ανάπτυξης του φαινομένου δεν μπορεί να υπάρξει καθώς το φαινόμενο εξελίσσεται με τα χρόνια όμως υπολογίζεται προσεγγιστικά ότι ξεκίνησε κατά την Βιομηχανική Επανάσταση, καθώς τότε άρχισε η χρήση ορυκτών καυσίμων και φυσικών πόρων. Έτσι από τότε έως και σήμερα έχει λάβει πολύ μεγαλύτερες διαστάσεις. Η μεγάλη αύξηση του φαινομένου οφείλεται στις ανάγκες που υπάρχουν πλέον στον πλανήτη για παραγωγή ενέργειας σύμφωνα με τις υπάρχουσες απαιτήσεις. Στην αύξηση του φαινομένου έχει συμβάλει η αστικοποίηση, δηλαδή η τάση των ανθρώπων να φεύγουν από τις επαρχίες και να συσσωρεύονται στις μεγάλες πόλεις. Έτσι μαζί με τον πληθυσμό των μεγαλουπόλεων αυξάνεται, όπως είναι φυσικό, και η ανάγκη για καύσιμα που χρησιμοποιούνται είτε για τη μετακίνηση είτε για θέρμανση, και διοχετεύονται περισσότεροι ρύποι στην ατμόσφαιρα (Χατουσιδίου Σ.,2010).

Οι ρύποι χωρίζονται επίσης σε δυο κατηγορίες όσον αφορά τον τρόπο παραγωγή τους - τους πρωτογενείς και τους δευτερογενείς. Πρωτογενείς είναι οι ρύποι που εκπέμπονται απευθείας από την πηγή, άμεσα στην ατμόσφαιρα από ανθρώπινες δραστηριότητες ή από την ίδια την φύση (Ρεμουντάκη Ε., 2010). Χαρακτηριστικά παραδείγματα τα καυσαέρια των αυτοκινήτων και οι εκρήξεις ηφαιστειών που εκπέμπουν CO και SO<sub>x</sub> αντίστοιχα (Ανδρίτσος Ν.,2008). Δευτερογενείς είναι οι ρύποι που δημιουργούνται μετά την αλληλεπίδραση πρωτογενών συστατικών της ατμόσφαιρας, για παράδειγμα το τροποσφαιρικό όζον (O<sub>3</sub>) (Ρεμουντάκη Ε., 2010). Οι ρύποι της ατμόσφαιρας μπορεί να είναι τοξικοί άμεσα ή έμμεσα επιδραστικοί στον άνθρωπο. Ορισμένοι από αυτούς έχουν άμεση επίδραση στη ζωή των ζωντανών οργανισμών στον πλανήτη. Για να γίνει περισσότερο κατανοητό το ζήτημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης παρακάτω υπάρχει η βασική κατηγοριοποίηση των ρύπων σύμφωνα με την πηγή προέλευσης τους:

1) μέσα μεταφοράς

- 2) οικιακή θέρμανση
- 3) διεργασίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- 4) ανεπιθύμητες καύσεις
- 5) βιομηχανικές καύσεις και βιομηχανικές εκπομπές

Οι παραπάνω κατηγορίες αντιστοιχούν περίπου σε ποσοστά 60%, 10%, 10-15%, 5% και 20% αντίστοιχα (Γεντεκάκης Ι., 2010).

Βασικοί ρυπαντές της ατμόσφαιρας είναι τα οξείδια του άνθρακα, οξείδια του θείου, οξείδια του αζώτου, πτητικά οργανικά συστατικά, αιωρούμενα σωματίδια, φωτοχημικά οξειδωτικά, ραδιενεργές ουσίες και τοξικά συστατικά. Οι ρύποι και οι βασικές πηγές προέλευσης τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.2.

Πίνακας 1.2.:Βασικοί ρύποι της ατμόσφαιρας. (G.TylerMiller,1999)

Ρυπαντές	Ρύποι	Βασική πηγή
Οξείδια του άνθρακα	Μονοξείδιο του άνθρακα CO, Διοξείδιο του άνθρακα CO <sub>2</sub>	Μέσα μεταφοράς, παραγωγή ενέργειας
Οξείδια του θείου	Διοξείδιο του θείου SO <sub>2</sub> , Τριοξείδιο του θείου SO <sub>3</sub>	Παραγωγή ενέργειας και θέρμανση
Οξείδια του αζώτου	Μονοξείδιο του αζώτου NO, Διοξείδιο του αζώτου NO <sub>2</sub>	Μέσα μεταφοράς
Πτητικές οργανικές ενώσεις	Μεθάνιο CH <sub>4</sub> , Προπάνιο C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , Χλωροφθοράνθρακες CFC	Μέσα μεταφοράς και βιομηχανία

Αιωρούμενα σωματίδια	Στερεά σωματίδια σκόνη κ.α, Υγρά σωματίδια Θειικό οξύ H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Θέρμανση, μέσα μεταφοράς, παραγωγή ενέργειας
Φωτοχημικά οξειδωτικά	Όζον O <sub>3</sub> , PAN, Αλδεΐδες κ.α.	Θέρμανση και μέσα μεταφοράς
Ραδιενεργές ουσίες	Ραδόνιο 222, Ιώδιο-131, Στρόντιο-90 Πλουτώνιο-239	Ανεπιθύμητες καύσεις βιομηχανικές καύσεις και βιομηχανικές εκπομπές
Τοξικά συστατικά	Ιχνοστοιχεία 600 τουλάχιστον τοξικών ουσιών	βιομηχανικές καύσεις και βιομηχανικές εκπομπές

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει και ο μηχανισμός μεταφοράς ρύπων από την πηγή σε οποιοδήποτε σημείο. Το παραπάνω συμβαίνει με ευνοϊκές μετεωρολογικές συνθήκες, συγκεκριμένα στην περίπτωση πυρκαγιάς ο καπνός, εάν υπάρχουν στην περιοχή συνθήκες με έντονους ανέμους, μπορεί να μεταφερθεί αρκετά χιλιόμετρα μακριά. Κάτι αντίστοιχο μπορεί να συμβεί και σε μικρότερες πηγές ρύπανσης όπως είναι ένα φουγάρο πλοίου. Επομένως, σημαντική είναι η κατανόηση της διασποράς της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που βοηθάει στην κατανόηση της διαβάθμισης της (Γεντεκάκης Ι.,2010).

Ο Πίνακας 1.3 παρουσιάζει αναλυτικά τα ποσοστά αστικού πληθυσμού που τα έτη 2016, 2017, 2018, 2019 και 2020 εκτέθηκαν στα, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub> και PM<sub>10</sub>.

Πίνακας 1.3: Ποσοστά αστικού πληθυσμού που εκτίθενται σε συγκεντρώσεις πάνω από τα πρότυπα της ΕΕ ανά έτος. (European Environmental Agency, 2020)

		2016	2017	2018	2019	2020
NO <sub>2</sub>	Ετήσιος μ.ό.	2.3	2.6	3.2	1.9	1.6
O <sub>3</sub>	Percentile 93.15	78.7	96.0	95.0	94.2	62.8

PM <sub>2.5</sub>	Ετήσιος μ.ό.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PM <sub>10</sub>	Ετήσιος μ.ό.	2.6	0.0	0.0	1.8	0.0
PM <sub>10</sub>	Percentile 90.41	26.0	19.6	4.5	4.4	2.7

### 1.1.3 Διαβάθμιση ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Για να γίνει περισσότερο αντιληπτή η επιρροή του φαινομένου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης χρειάστηκε να γίνει διαχωρισμός ανάλογα με την περιοχή που πλήττεται από εκείνη. Ο διαχωρισμούς είναι ο εξής: τοπική, αστική, περιφερειακή, διηπειρωτική και παγκόσμια κλίμακα.

- Τοπική κλίμακα: είναι η κλίμακα στην οποία επηρεάζονται περιοχές μέχρι 5 km από την πηγή ρύπανσης. Οι πηγές μπορεί να είναι, αυτοκινητόδρομος λόγω των καυσαερίων των οχημάτων, καμινάδες βιομηχανικών μονάδων, βιολογικός καθαρισμός, Χ.Υ.Τ.Α κ.α.. Δηλαδή είναι πηγές οι οποίες εάν ευνοούν και οι μετεωρολογικές συνθήκες δημιουργούν ρύπανση μικρής εμβέλειας που γίνεται αντιληπτή σε κοντινές αποστάσεις.
- Αστική κλίμακα: επηρεάζει τις περιοχές που βρίσκονται έως και 50 km από την πηγή ρύπανσης. Σε αυτή την κλίμακα εμφανίζονται ρύποι πρωτογενείς και δευτερογενείς. Επομένως είναι πιο σύνθετη κλίμακα από την προηγούμενη κατηγορία καθώς σε ό,τι αφορά στους δευτερογενείς ρύπους δεν είναι πάντα γνωστή η χημική τους σύσταση άρα και η επικινδυνότητά τους. Κάποιες βασικές πηγές ρύπανσης αστικής κλίμακας είναι τα καυσαέρια των αυτοκινήτων και η δημιουργία τροποσφαιρικού όζοντος από τις φωτοχημικές αντιδράσεις.
- Περιφερειακή κλίμακα: κλίμακα με ακτίνα δράσης από 50 έως 500km. Το φαινόμενο είναι εμφανές στην ευρύτερη περιοχή και αποτελεί συνδυασμό πρωτογενών και δευτερογενών ρύπων. Η έκταση του εξαρτάται από την διασπορά των αστικών ρύπων. Επίσης το φαινόμενο μπορεί να διατηρηθεί μόνο από την ύπαρξη πρωτογενών ρύπων με σταθερή σύσταση άρα και με μεγάλους χρόνους παραμονής στην ατμόσφαιρα. Παράδειγμα ρύπανσης σε περιφερειακή κλίμακα είναι η όξινη βροχή.

- ο Διασυννοριακή κλίμακα: κλίμακα που επηρεάζει τις περιοχές που βρίσκονται από 500 έως αρκετές εκατοντάδες km από την πηγή ρύπανσης. Η διαφορά της περιφερειακής με την διηπειρωτική κλίμακα είναι ότι η ρύπανση μεταφέρεται από μια γειτονική περιοχή σε μια άλλη. Βασικό παράδειγμα αποτελεί η όξινη βροχή, όπου το φαινόμενο μεταφέρεται για παράδειγμα από την Κίνα στην Ιαπωνία , από την Μεγάλη Βρετανία στην Σκανδιναβία, από την κεντρική Ευρώπη στη Μεσόγειο κ.α.
- ο Παγκόσμια κλίμακα: το φαινόμενο είναι εμφανές σε όλο τον κόσμο. Δηλαδή οι ρυπάνσεις μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα σε περιοχές που απέχουν χιλιάδες χιλιόμετρα από τις πηγές ή ακόμα και σε περιοχές που ανήκουν σε άλλη ήπειρο. Χαρακτηριστικό παραδείγματα ρυπάνσεων σε παγκόσμια κλίμακα αποτελεί το πυρηνικό ατύχημα του Τσερνομπίλ που έφερε ραγδαία αύξηση ραδιενέργειας σε περιοχές της Βόρειας Αμερικής, η μεταφορά καπνού από πυρκαγιές από τη Β. Αμερική στην Ευρώπη και η μεταφορά ανθρωπογενών ρύπων από την ανατολική Ασία στη Β. Αμερική.

(Γεντεκάκης Ι.,2010)

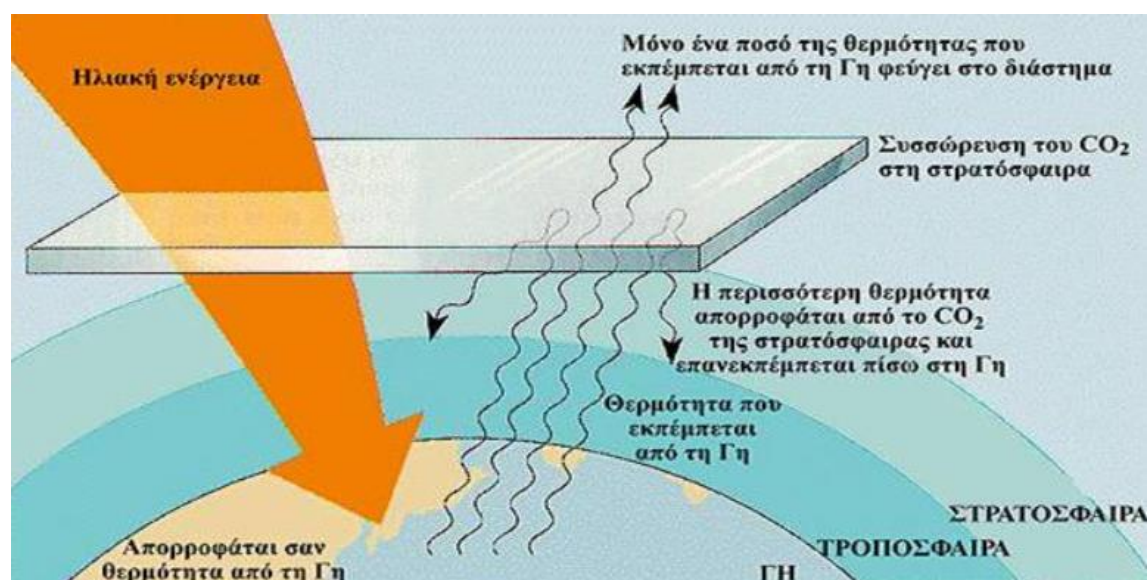
#### 1.1.4 Φαινόμενα που ενισχύονται λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει αποτελέσματα βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα στη ζωή του ανθρώπου και η καλή ποιότητα αέρα είναι αλληλένδετη με την ομαλή και ποιοτική ζωή. Όπως φαίνεται από τις προηγούμενες παραγράφους, η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να δημιουργηθεί ή να ενισχυθεί αρκετά εύκολα λόγω του μεγάλου εύρους ρύπων που παράγονται στον πλανήτη, τόσο από ανθρωπογενείς όσο και από φυσικές διεργασίες. Παρακάτω περιγράφονται δύο από τα βασικότερα φαινόμενα που ενισχύονται όλο και περισσότερο από την ατμοσφαιρική ρύπανση.

##### Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα φαινόμενο που υπάρχει στην φύση χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση από την σύσταση του πλανήτη, μάλιστα είναι πολύ σημαντικό για να ρυθμίζει την θερμοκρασία της Γης. Συγκεκριμένα τα αέρια του θερμοκηπίου είναι τα CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub>, και CFCs (Χρήστος Ι. Τσάμης,2015)

Μέρος της ενέργειας που δέχεται η Γη από τον Ήλιο παραμένει στην ατμόσφαιρα λόγω των αερίων αυτών και θερμαίνει τον πλανήτη. Αναλυτικότερα, τα αέρια του θερμοκηπίου σχηματίζουν ένα στρώμα πάνω από το έδαφος της Γης, το οποίο απορροφά μόνο κατά ένα μικρό ποσοστό την εισερχόμενη ακτινοβολία του Ηλίου. Στη συνέχεια η υπόλοιπη ακτινοβολία απορροφάται και επανεκπέμπεται από τη Γη στο υπέρυθρο μέρος του φάσματος, και ενώ ένα μέρος της διαφεύγει προς το διάστημα, το υπόλοιπο εγκλωβίζεται από το στρώμα των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα της Γης ( Γεντεκάκης Ι.,2010)



Εικόνα 1.2: Φαινόμενο του θερμοκηπίου. Πηγή: Aegean

Χωρίς το φαινόμενο οι θερμοκρασίες του πλανήτη θα ήταν αρκετά διαφορετικές, δηλαδή θα ήταν χαμηλότερες κατά 10°C με 20°C και η ζωή στον πλανήτη δεν θα ήταν όπως είναι τώρα. Όμως λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα περισσότερα αέρια του θερμοκηπίου και έτσι όλο και περισσότερη υπέρυθρη ακτινοβολία εγκλωβίζεται ανάμεσα στο στρώμα των αερίων και τη Γη και έτσι υπερθερμαίνεται ο πλανήτης. Επομένως το φαινόμενο είναι απαραίτητο για την ζωή όμως οι περαιτέρω επιβαρύνσεις δημιουργούν σοβαρά θέματα για τον πλανήτη και τις ανθρώπινες κοινωνίες, πέρα από την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας, είναι οι καύσωνες, η αύξηση της στάθμης της θάλασσας, οι ακραίες έντασης βροχοπτώσεις, η ξηρασία και οι δασικές πυρκαγιές (Volton, 2019). Στον Πίνακα 1.4 φαίνεται ξεκάθαρα πόσο έχει αυξηθεί η ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου και από ποιες πηγές.

Πίνακας 1.4: Τα αέρια του θερμοκηπίου, οι συγκεντρώσεις τους και η πηγή προέλευσης τους.  
(Χρήστος Ι., Τσάμης, 2015)

Αέρια του θερμοκηπίου	Συγκέντρωση το 1750	Συγκέντρωση σήμερα (ppm)	Ποσοστό μεταβολής	Κύριες πηγές προέλευσης
CO <sub>2</sub>	280 ppm	360 ppm	29%	Πυρκαγιές και Ηφαίστεια
CH <sub>4</sub>	0,70 ppm	1,70 ppm	143%	Υγρότοποι, Πετρελαιοπηγές και καύση βιομάζας
NO <sub>x</sub>	280 ppb	310 ppb	11%	Απορρίμματα, καλλιέργειες
CFCs	0	900 ppt	900%	Ψεκασμοί και απορρυπαντικά
O <sub>3</sub>	-	Ποικίλει	-	Αιθαλομίχλη

### Όξινη βροχή

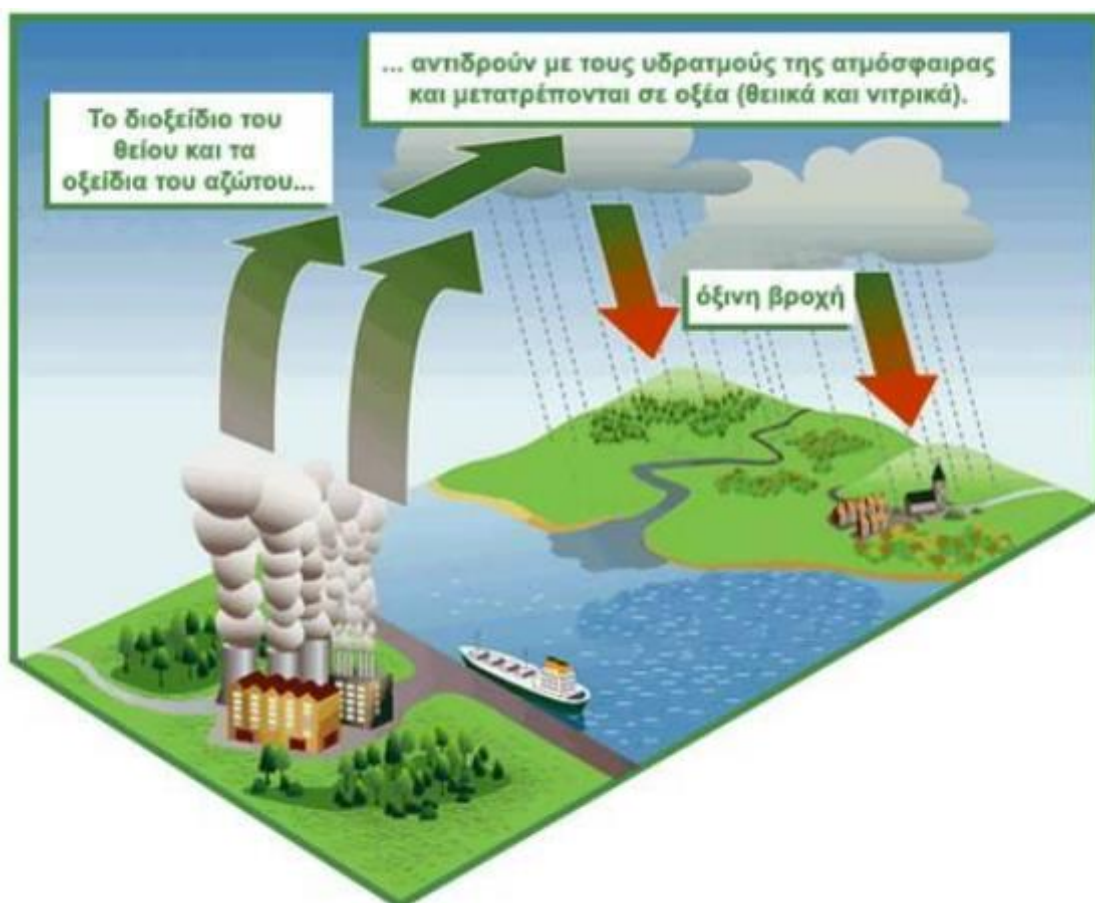
Βροχή είναι το μετεωρολογικό φαινόμενο κατά το οποίο νερό σε μορφή υδρατμών πέφτει από τα σύννεφα στην επιφάνεια της γης. Όξινη βροχή είναι το φαινόμενο κατά το οποίο η βροχή είναι πιο όξινη από ότι συνηθίζεται. Από την Εικόνα 1.3 φαίνεται η πορεία που ακολουθεί το νερό ώστε να καταλήξει στην γη σε μορφή βροχής είτε αυτή είναι όξινη είτε όχι. Στο φαινόμενο αυτό είναι πολύ σημαντικό το pH. Συγκεκριμένα όπως είναι γνωστό το Ph είναι ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των διαλυμένων ιόντων υδρογόνου και οι τιμές του κυμαίνονται από 0 έως 14. Όταν το pH είναι μικρότερο του 7 τότε το διάλυμα είναι όξινο, όταν είναι μεγαλύτερο του 7 είναι βασικό, ενώ όταν είναι 7 είναι ουδέτερο (Χαράλαμπος Μηλιώνης, 2016). Το φαινόμενο της βροχής από τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις έχει pH 5 έως 5,6, ενώ το pH της όξινης βροχής κυμαίνεται από 3,5 έως 4,5. Αυτό συμβαίνει καθώς το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) και το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) στην ατμόσφαιρα οξειδώνονται σε τριοξείδιο του αζώτου και του θείου (NO<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub>) και μέσω της υγρασίας που υπάρχει στην ατμόσφαιρα μετατρέπονται σε θειικό (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) και νιτρικό οξύ (HNO<sub>3</sub>) και καταλήγουν στο έδαφος μεταφερόμενα από την βροχή, δηλαδή την όξινη βροχή (Βαρδάκα Γεωργία, Ζερη Ευαγγελία, 2005).

Άρα το βασικό αίτιο εμφάνισης του φαινομένου είναι η ύπαρξη ατμοσφαιρικών ρύπων κυρίως προερχόμενοι από την βιομηχανία και τα μέσα μεταφοράς.

Το φαινόμενο έχει άμεσες συνέπειες στο περιβάλλον οι πιο σημαντικές είναι ότι:

- επηρεάζει την οξύτητα των νερών των λιμνών και των ποταμών και έτσι γίνεται δύσκολη η επιβίωση των υδρόβιων οργανισμών,
- Τα θρεπτικά συστατικά των εδαφών και δασών διαλύονται,
- Τα μάρμαρα των αρχαίων μνημείων διαβρώνονται κ.α.

(Μπέλλου Ναταλία,2016)



Εικόνα 1.3: Μηχανισμός ανάπτυξης η όξινης βροχής. Πηγή: CHEMISTRY

## 1.2 Αιωρούμενα Σωματίδια

### 1.2.1 Ορισμός αιωρούμενων σωματιδίων



Αεροζόλ είναι ο όρος που χρησιμοποιείται όταν γίνεται αναφορά στα αιωρούμενα σωματίδια. Αεροζόλ είναι το σύνολο υγρών η και στερεών σωματιδίων που βρίσκονται σε αιώρηση σε αέριο μέσο για αρκετή ώρα ικανή ώστε να παρατηρηθεί ή να μετρηθεί αυτό, με διαφορετική προέλευση σύνθεσης και κοκκομετρική κατανομή (CalvoAL,2013, Baron P. A., 2001). Τα αιωρούμενα σωματίδια ανάλογα με την πηγή προέλευσης τους (φυσική ή ανθρωπογενής) και το περιβάλλον το οποίο βρίσκονται, για παράδειγμα βιομηχανικό, ενδέχεται να εμφανίσουν διαφορετικά μεγέθη, σχήματα, πυκνότητα και χημική σύσταση (BaronP. A., 2001). Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορεί να διαφέρουν για κάθε αιωρούμενο σωματίδιο που βρίσκεται στην φύση, ενώ αεροζόλ με ίδια χαρακτηριστικά μπορούν να δημιουργηθούν υπό εργαστηριακές συνθήκες (Χαλκούκης Α., 2012). Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν βασικό ρύπο της ατμόσφαιρας και κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους (Σωφρόνιαδης Δ., 2007). Άρα είναι απαραίτητη η γνώση των χαρακτηριστικών αυτών ώστε να μελετηθεί εκτενέστερα η ποιότητα και η επικινδυνότητα τους.

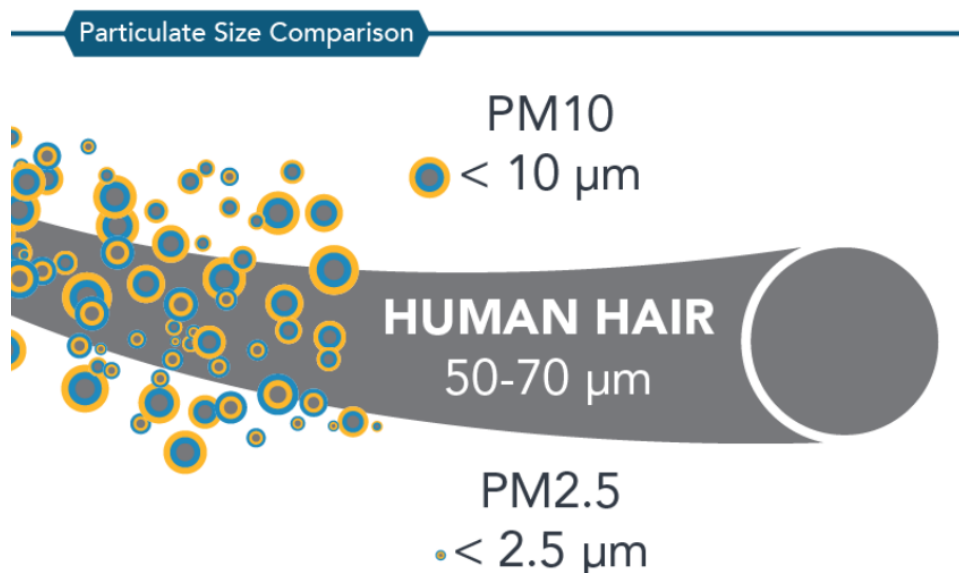
### 1.2.2 Μέγεθος και σχήμα αιωρούμενων σωματιδίων

#### Μέγεθος

Το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων είναι μια από τις πιο σημαντικές φυσικές ιδιότητες καθώς από εκείνο καθορίζεται η συμπεριφορά τους (Χατουτσίδου Σ., 2010). Το μέγεθος τους επηρεάζει τις δυνατότητες διακίνησης διασπορά και επιρροής των σωματιδίων στο περιβάλλον καθώς και την επίδραση τους στην ανθρώπινη υγεία. Τα αεροζόλ έχουν διαφορετική συμπεριφορά ανάλογη με το μέγεθος τους, ενώ οι ιδιότητες αυτών είναι αλληλένδετες με το μέγεθος. Για παράδειγμα, σωματίδια με μεγάλο μέγεθος, που είναι ορατά με γυμνό μάτι, υπόκεινται σε βαρυτικές και αδρανειακές δυνάμεις. Στις περιπτώσεις όπου γίνεται αναφορά σε αεροζόλ από την φύση καλούνται πολυδιάστατα καθώς έχουν πολλά και διαφορετικά μεγέθη. Κάθε σωματίδιο στην ατμόσφαιρα μπορεί να παρουσιάσει διάφορες στις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του ακόμη και αν έχει ίδιο μέγεθος με άλλο σωματίδιο (BaronP. A., 2001). Το εύρος των μεγεθών κυμαίνεται από μερικά νανόμετρα έως μερικά μικρόμετρα. Τις περισσότερες φορές η σύσταση τους είναι μεταβλητή με την παρουσία πολλών χημικών ενώσεων και για αυτό το μέγεθος τους έχει ως χαρακτηριστικό

την αεροδυναμική διάμετρο (Υπουργείο εργασίας, πρόνοιας και κοινωνικών ασφαλίσεων, 2017).

Ο συμβολισμός που χρησιμοποιείται είναι PM (Particulate Matter). Δύο είναι οι βασικές κατηγορίες διαχωρισμού των αεροζόλ με βάση το μέγεθος τους: λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα. Λεπτόκοκκα ονομάζονται τα σωματίδια με διάμετρο 2.5  $\mu\text{m}$  ή και μικρότερη ( $\text{PM}_{2.5}$ ). Ενώ χονδρόκοκκα είναι τα σωματίδια με διάμετρο 10  $\mu\text{m}$  ή και μικρότερη ( $\text{PM}_{10}$ ). Από την Εικόνα 1.4. φαίνεται η εμφανής διαφορά στο μέγεθος των  $\text{PM}_{10}$ - $\text{PM}_{2.5}$  μεταξύ τους αλλά και σε σύγκριση με μια ανθρώπινη τρίχα.



w

Εικόνα 1.4.: Σύγκριση μεγέθους αιωρούμενων σωματιδίων με ανθρώπινη τρίχα

Πηγή: California air resource board

### Σχήμα

Το σχήμα των αεροζόλ μπορεί να είναι σφαιρικό, κυλινδρικό ή και πιο περίπλοκο όπως αυτά των κρυσταλλικών σωματιδίων και των σωματιδίων αιθάλης που δεν παρουσιάζουν συγκεκριμένη μορφή (Baron P. A., 2001). Παρατηρείται ότι μετά τις διεργασίες της συμπύκνωσης και πυρηνοποίησης είναι σφαιρικά ενώ μετά από την τριβή έχουν σχήμα που μοιάζει με το μητρικό υλικό (Ruzer L.S., 2005). Αναλυτικότερα τις περισσότερες φορές τα υγρά αιωρούμενα σωματίδια εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα με σφαιρικό σχήμα ενώ τα στερεά με ακανόνιστο σχήμα. Έτσι, μετά την ένωση και συσσωμάτωση των υγρών - στερεών

σωματιδίων δημιουργούνται σχήματα όπως αυτά των στερεών. Για την παρούσα διπλωματική εργασία το σχήμα των αεροζόλ έχει θεωρηθεί σφαιρικό ενώ παράλληλα έχει γίνει χρήση παράγοντα διόρθωσης.

### 1.2.3 Χημική σύσταση αιωρούμενων σωματιδίων

Η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων δεν είναι πάντα ίδια καθώς αποτελούνται από μείγμα διαφορετικών χημικών ενώσεων ανάλογα με την πηγή από την οποία προέρχονται (Ανδρούτσου Μ, 2004). Ο πυρήνας των αιωρούμενων σωματιδίων αποτελείται από συστατικά μεγάλου μοριακού βάρους που έχουν συμπυκνωθεί και καλύπτεται από χαμηλού μοριακού βάρους συμπυκνώματα σωματιδίων που δημιουργούν ένα στρώμα πάνω από αυτόν (Ruzer L.S., 2005). Επομένως, η χημική σύσταση των αεροζόλ αποτελεί ένα από τα πιο βασικά φυσικά χαρακτηριστικά του. Από τα καύσιμα λόγω μεταφοράς οχημάτων οι ρύποι που εκπέμπονται είναι: μαγγάνιο (Mn), σελήνιο (Se), βρώμιο (Br), ψευδάργυρος (Zn), βάριο (Ba), βανάδιο (V), χλώριο (Cl), νικέλιο (Ni), μόλυβδος (Pb), ιρίδιο (Ir), μόλυβδος (Pb), ρουθίνιο (Ru) και ρόδιο (Rh). Έτσι τα αεροζόλ από περιοχές με κίνηση οχημάτων έχουν τα παραπάνω στοιχεία στην σύστασή τους. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει με την σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων από διαφορετικές πηγές. Συγκεκριμένα σωματίδια που προέρχονται από μηχανική τριβή εξαρτημάτων περιέχουν σίδηρο (Fe) και αργίλιο (Al) ενώ από βιομηχανικές διεργασίες μόλυβδος (Pb), κοβάλτιο (Co), φώσφορος (P), βανάδιο (V), αρσενικό (As), γάλλιο (Ga), μαγγάνιο (Mn), χαλκός (Cu), νικέλιο (Ni), σελήνιο (Se), αργίλιο (Al) και θείο (S) (Λαζαρίδης Μ., 2010). Ωστόσο τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν διαφορετική χημική σύσταση ανάλογα με το μέγεθός τους. Τα λεπτόκοκκα σωματίδια έχουν ουσίες κυρίως από θείο (S), αμμωνία (NH<sub>3</sub>) υδρογονάνθρακες, τοξικά μέταλλα, νερό (H<sub>2</sub>O) και στοιχειακό άνθρακα, ενώ τα χονδρόκοκκα σωματίδια αποτελούνται από κρυσταλλικές ουσίες σίδηρο (Fe), πυρίτιο (FeS<sub>2</sub>) αργίλιο (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ασβέστιο (Ca) (Hinds W.C., 1999).

### 1.2.4 Πυκνότητα και συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων

#### Πυκνότητα

Πυκνότητα ορίζεται ο λόγος της μάζας ενός υλικού προς τον όγκο με μονάδα μέτρησης τα  $\text{kg/m}^3$ . Η πυκνότητα των σωματιδίων σύμφωνα με τον γενικό κανόνα υπολογίζεται σε  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Τα υγρά σωματίδια έχουν ίδια πυκνότητα με την πηγή από την οποία προήλθαν, ενώ τα στερεά εμφανίζουν πυκνότητες μειωμένες σύμφωνα με τα φυσικά χαρακτηριστικά τους (HindsW.C.,1999)

### Συγκέντρωση

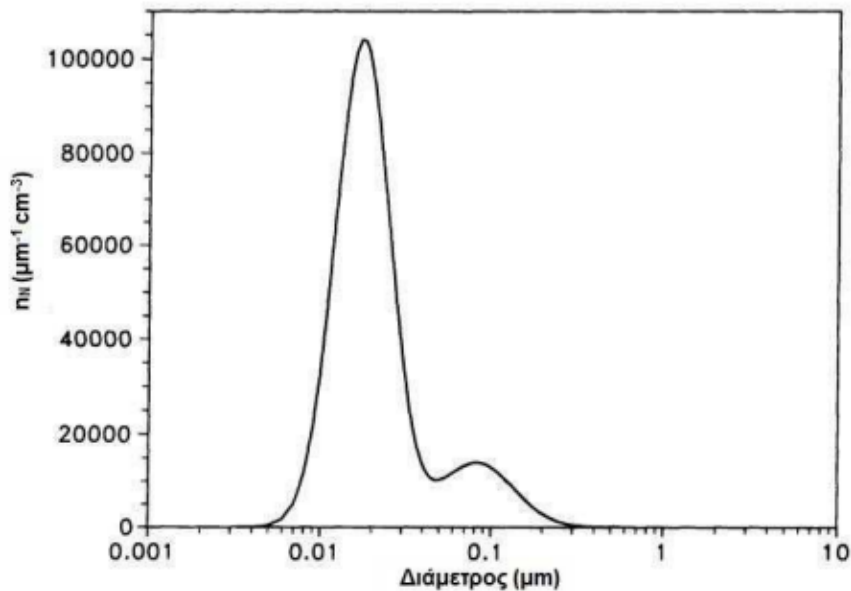
Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων μετριέται κυρίως σε  $\mu\text{g/m}^3$  καθώς επίσης και σε  $\text{g/m}^3$  ή  $\text{mg/m}^3$ . Συγκέντρωση είναι η μάζα σωματιδίων ανά μονάδα όγκου μίγματος. Με τον υπολογισμό της συγκέντρωσης των αεροζόλ στην ατμόσφαιρα μετριέται η ποιότητα του αέρα, η επικινδυνότητα του, καθώς και τα ποσοστά σκόνης (HindsW.C.,1999).

### 1.2.5 Βασικές κατανομές αιωρούμενων σωματιδίων

Στην ατμόσφαιρα υπάρχει ποικιλία μεγεθών αιωρούμενων σωματιδίων. Το μέγεθος χαρακτηρίζεται από την διάμετρο, λόγω της μεγάλης ποικιλίας μεγεθών δεν μπορεί να γίνει εύκολος διαχωρισμός των σωματιδίων έτσι θεωρείται απαραίτητος ο διαχωρισμός των σωματιδίων σε κατανομές ανάλογα με την διάμετρο τους (Τριανταφυλλάκη Μ., 2023). Παρακάτω αναλύονται οι βασικές κατανομές αιωρούμενων σωματιδίων.

#### Κατανομή με βάση τον αριθμό (Number Distribution)

Ο αριθμός των σωματιδίων που βρίσκονται σε κάθε διάμετρο εκφράζεται κατάλληλα μέσω της κατανομής  $n_N(D_p)$ . Σύμφωνα με το Διάγραμμα 1.2 η κατανομή  $n_N(D_p)$  είναι συναρτήσεως της διαμέτρου,  $n_N(D_p)$  βάση ορισμού είναι ο αριθμός σωματιδίων που υπάρχει σε συγκεκριμένο εύρος διαμέτρου δια το εύρος της διαμέτρου ανά μονάδα όγκου. Το υψηλότερο σημείο του διαγράμματος αντιστοιχεί στα  $0.02 \mu\text{m}$ , και όλες οι τιμές κάτω από τα  $0.02 \mu\text{m}$  αποτελούν το 90% των σωματιδίων.



Διάγραμμα 1.1: Κατανομή με βάση τον αριθμό συναρτήσει της διαμέτρου

#### Κατανομές με βάση την επιφάνεια (Surface Area Distribution) και τον όγκο (Volume Distribution)

Η συγκεκριμένη κατανομή με βάση την επιφάνεια και τον όγκο είναι αρκετά σημαντική καθώς αυτά τα χαρακτηριστικά (επιφάνεια και όγκος) των σωματιδίων έχουν αξία για τις ιδιότητες του.

Η κατανομή με βάση την επιφάνεια συμβολίζεται με:  $n_s(D_p)$ , ενώ η κατανομή με βάση τον όγκο με  $n_v(D_p)$ .

Οι βασικοί τύποι που χρησιμοποιούνται για αυτές τις κατανομές είναι οι εξής:

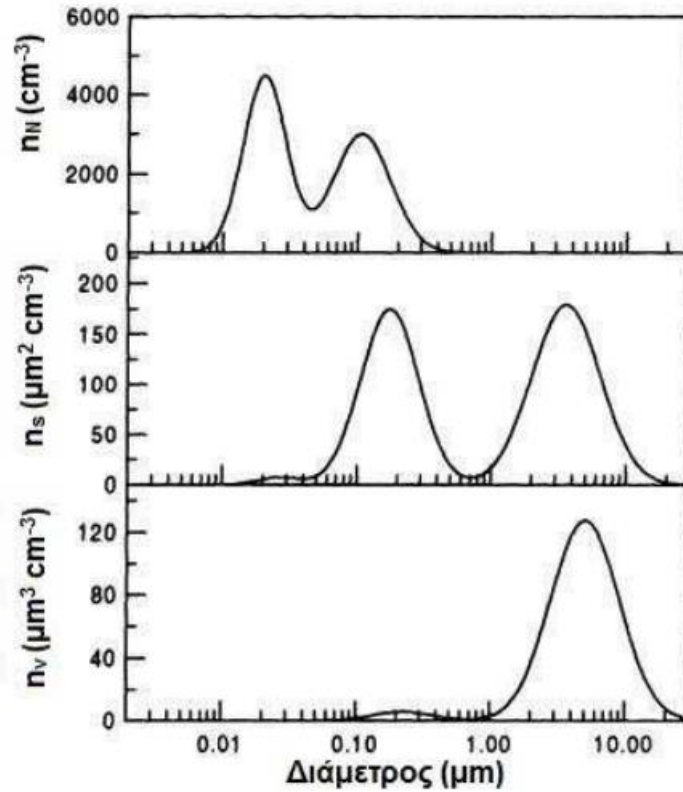
- $n_s(D_p) = \pi D_p^2 n_N(D_p)$ , όπου  $\pi D_p^2$  ο όγκος του σωματιδίου με συνολική επιφάνεια

$$S_t = \pi \int_0^\infty D_p^2 n_N(D_p) dD_p = \int_0^\infty n_s(D_p) dD_p$$

- $n_v(D_p) = \pi/6 D_p^3 n_N(D_p)$ , όπου  $\pi/6 D_p^3$  ο όγκος του σωματιδίου, με συνολικό όγκο

$$V_t = \frac{\pi}{6} \int_0^\infty D_p^3 n_N(D_p) dD_p = \int_0^\infty n_v(D_p) dD_p$$

Στο Διάγραμμα 1.2 φαίνεται για κάθε μια από τις τρεις γραφικές παραστάσεις ο αριθμός, η επιφάνεια και ο όγκος των αεροζόλ συναρτήσει του λογαριθμικού αριθμού της διαμέτρου



Διάγραμμα 1.2: Αριθμός ( $n_N(D_p)$ ), επιφάνεια ( $n_S(D_p)$ ), και όγκος ( $n_V(D_p)$ ) των αεροζόλ συναρτήσει του λογαριθμικού αριθμού της διαμέτρου.

(Seinfeld J.H. Pandis S. N 2006)

#### Κανονική λογαριθμική κατανομή

Κανονική λογαριθμική κατανομή είναι η κατανομή που εκφράζεται συναρτήσει του λογάριθμου της μεταβλητής.

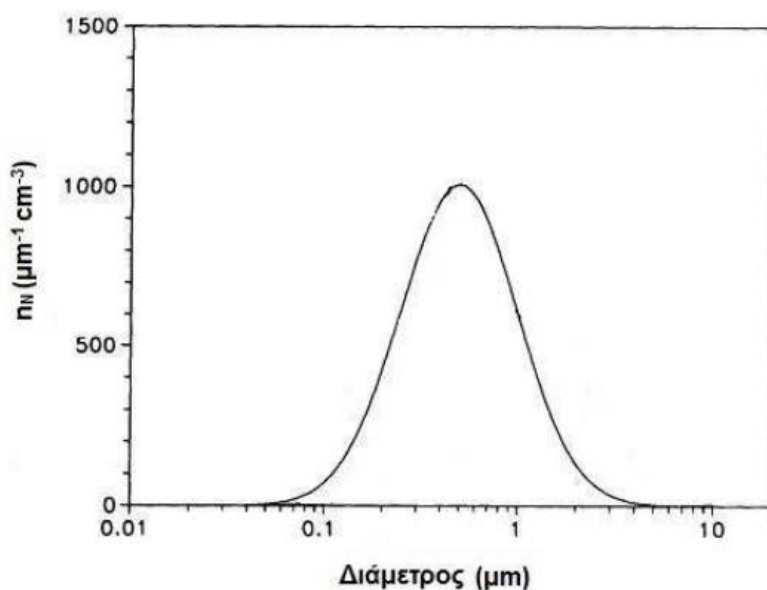
Η επεξεργασία δεδομένων της ατμόσφαιρας δεν είναι πάντα εύκολη, έτσι για την σωστότερη ανάλυση τους χρειάζεται να γίνει χρήση του παρακάτω μαθηματικού τύπου.

$$n_N(D_p) = \frac{dN}{dD_p} = \frac{N_i}{\sqrt{2\pi} D_p \ln \sigma_g} \exp\left(-\frac{(\ln D_p - \ln \bar{D}_{pg})^2}{2 \ln^2 \sigma_g}\right)$$

όπου:

$$\bar{D}_{pg} = \exp\left(\frac{\sum n_i \ln D_{p,i}}{N}\right), \quad \sigma_g = \exp\left[\left(\frac{\sum n_i (\ln D_{p,i} - \ln \bar{D}_{pg})^2}{N-1}\right)^{1/2}\right]$$

Όπως φαίνεται από το Διάγραμμα 1.3 και σύμφωνα με τις παραπάνω συναρτήσεις η κανονική λογαριθμική κατανομή έχει μια μέγιστη τιμή που αντιπροσωπεύει την μέση τιμή ( $\mu$ ), από την απόκλιση,  $\sigma$ , εξαρτάται το πλάτος της κατανομής.



Διάγραμμα 1.3: Κανονική λογαριθμική κατανομή, συγκέντρωση  $N_n$ .

(Seinfeld J.H. Pandis S. N 2006)

#### 1.2.6 Πηγές αιωρούμενων σωματιδίων

Όπως προαναφέρθηκε τα αιωρούμενα σωματίδια είναι μια από τις βασικές πηγές ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Μεγάλο ενδιαφέρουν έχει η πηγή προέλευσης των σωματιδίων, καθώς και εάν η πηγή αυτή δημιουργείται από την φύση ή από ανθρώπινη παρέμβαση. Ανάλογα με εκείνη διαχωρίζονται σε πρωτογενή και δευτερογενή. Πρωτογενή είναι τα σωματίδια που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα απευθείας από την πηγή, ενώ δευτερογενή τα σωματίδια που προέρχονται από αντιδράσεις των πρωτογενών σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Οι αντιδράσεις αυτές μπορεί να είναι του διοξειδίου του άνθρακα, οξειδίου του αζώτου και ορισμένων οργανικών ενώσεων. Οι οργανικές ενώσεις μπορούν να προέρχονται από φυσικές πηγές (δέντρα, βλάστηση) ή και ανθρωπογενείς πηγές (καυσαέρια αυτοκινήτων, καύσεις γεωργικών υπολειμμάτων) (dhec, 2016).

Παρακάτω στον Πίνακα 1.2.3 βρίσκονται κάποιες από τις βασικές πηγές αιωρούμενων σωματιδίων και η προέλευση τους:

Πίνακας 1.2.3.: Πηγές αιωρούμενων σωματιδίων

Πηγές αιωρούμενων σωματιδίων	Ανθρωπογενείς Πηγές (Α/Π) Φυσικές Πηγές (Φ/Π)
Επιφάνεια θαλασσών και ωκεανών	Φ/Π
Επιφάνεια εδαφών	Φ/Π
Ηφαιστειακή δραστηριότητα	Φ/Π
Βιογενής ύλη	Φ/Π
Δασικές πυρκαγιές	Φ/Π
Βιομηχανικές δραστηριότητες	Α/Π
Καύσεις γεωργικών υπολειμμάτων	Α/Π
Καύσεις ορυκτών καυσίμων	Α/Π
Σκόνη	Φ/Π
Γύρη	Φ/Π
Παραγωγή τσιμέντου	Α/Π
Παραγωγή γύψου	Α/Π
Χυτήρια μεταλλεύματος	Α/Π
Πυρκαγιές	Α/Π
Καύση βιομάζας	Α/Π
Αγροτικές δραστηριότητες	Α/Π
Αυτοκίνητο( φθορά ελαστικών, καύση καυσίμου κ.α.)	Α/Π
Φθορά οδοστρώματος	Α/Π
Εργοτάξια	Α/Π
Επαναίωση σωματιδίων	Φ/Π
Θύελλες σκόνης	Φ/Π
Διαχείριση αποβλήτων	Α/Π
Εναέριοι ψεκασμοί	Α/Π
Αποσύνθεση αποβλήτων	Φ/Π



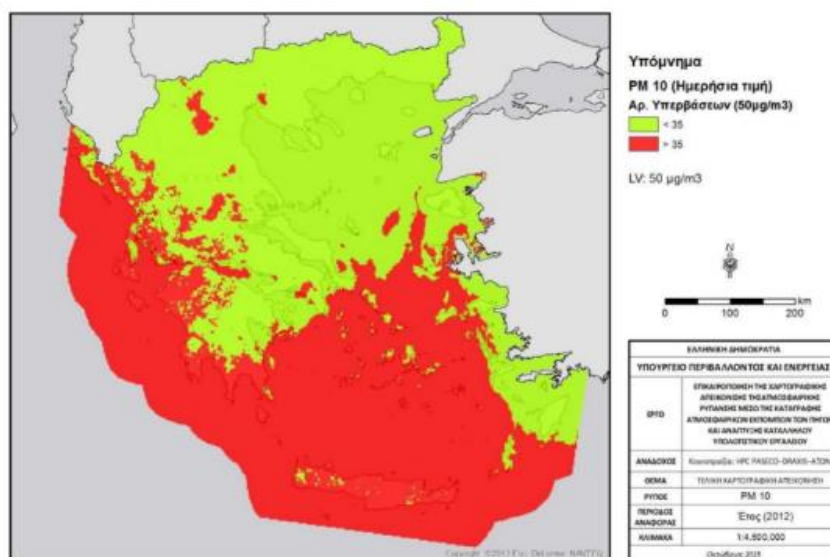
(Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2019), (Μουστρήs Κ.Π.,2020) (Υπουργείο Εργασίας, Πρόνοιας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων, 2017), (European Environment Agency, 2020).

Οι πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων ποικίλουν όπως φαίνεται και παραπάνω, άρα ο άνθρωπος είναι συνεχώς εκτεθειμένος στον κίνδυνο να εισπνεύσει ποσότητα αεροζόλ. Για αυτό έχουν θεσπιστεί όρια έκθεσης του ανθρώπου σε αυτά. Σύμφωνα με την εθνική και ευρωπαϊκή νομοθεσία ισχύει ότι:

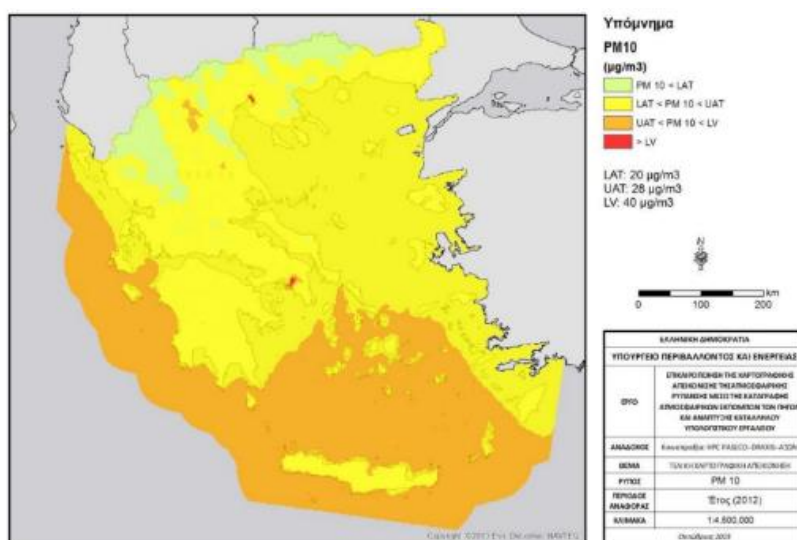
- 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  είναι το όριο μέσης ετήσιας τιμής συγκέντρωσης,
- 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  είναι το όριο μέσης ημερήσιας τιμής συγκέντρωσης, το οποίο δεν επιτρέπεται να ξεπεραστεί πάνω από 35 φορές το χρόνο.

Εκτιμάται ότι το 90% του πληθυσμού της Ευρώπης που κατοικεί σε πόλεις έχει εκτεθεί σε ρύπους που υπερβαίνουν τα ποιοτικά όρια του αέρα (European Environment Agency,2020).

Οι παρακάτω εικόνες δείχνουν τα αιωρούμενα σωματίδια στην Ελλάδα ανά ημέρα και ανά έτος αντίστοιχα σύμφωνα με την μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τον Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης στα πλαίσια του έργου «Επικαιροποίηση της χαρτογραφικής απεικόνισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μέσω της καταγραφής ατμοσφαιρικών εκπομπών των πηγών και ανάπτυξης κατάλληλου υπολογιστικού εργαλείου» ενταγμένου στο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Περιβάλλον & Αειφόρος Ανάπτυξη του ΕΣΠΑ.



Εικόνα 1.4 Ημερήσιες τιμές PM<sub>10</sub> στην Ελλάδα



Εικόνα 1.5: Ετήσιες τιμές PM<sub>10</sub> στην Ελλάδα.

Όπως φαίνεται και από τις δύο εικόνες, Εικόνα 1.4. και 1.5. που αντιστοιχούν στις ημερήσιες και ετήσιες τιμές PM<sub>10</sub> για το έτος 2012 οι υψηλότερες τιμές βρίσκονται στην Νότιο-Ανατολική Ελλάδα. Συγκεκριμένα στην Εικόνα 1.4 τιμές PM<sub>10</sub> πάνω από 35 µg/m<sup>3</sup> υπάρχουν κυρίως στην Νότιο Ελλάδα, στο Ιόνιο πέλαγος, στην Κρήτη σε όλο το Αιγαίο σε ένα μικρό τμήμα της Πελοποννήσου και σποραδικά σε ορισμένες περιοχές στο Βόρεια της χώρας. Στην Εικόνα 1.5 η κατανομή των σωματιδίων είναι παρόμοια με την Εικόνα 1.4 δηλαδή πιο μεγάλη ένταση του φαινομένου υπάρχει στην Νότιο-Ανατολική Ελλάδα.

### 1.2.7 Επιπτώσεις αιωρούμενων σωματιδίων

#### 1.2.7.1 Επιπτώσεις στην φύση

Τα αεροζόλ δεν δημιουργούν ζητήματα μόνο κοντά στην πηγή δημιουργίας τους αλλά και σε πιο μακρυνες αποστάσεις καθώς μεταφέρονται μέσω του ανέμου. Έτσι είναι πιθανό να καθιζάνουν σε διάφορα σημεία στην φύση όπως στο έδαφος και στους υδάτινους αποδέκτες. Το παραπάνω είναι ικανό να:

- οξύνει την σύσταση του νερού,
- μειώσει τα θρεπτικά συστατικά ουσιών στα παράκτια ύδατα και στις μεγάλες λεκάνες απορροής ποταμών,
- αποδυναμώνει τα θρεπτικά συστατικά που υπάρχουν στο έδαφος,

- ο ελαχιστοποιεί την απόδοση των γεωργικών καλλιεργειών,
- ο δρα αρνητικά στην ποικιλιότητα των οικοσυστημάτων
- ο επηρεάζει σημαντικά στην όξινη βροχή και τέλος
- ο καταστροφή ευαίσθητων δασικών συστημάτων

(EPA,2022)

Η αυξημένη εμφάνιση των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα συνδυάζεται και με περισσότερα ζητήματα όπως αυτό της κλιματικής αλλαγής. Φαίνεται ότι επηρεάζεται η θερμοκρασία του κλίματος, ο μαύρος άνθρακας την αυξάνει ενώ τα νιτρικά και θειικά άλατα την μειώνουν (California Air Resources Board, 2023).

Κυρίως τα λεπτόκοκκα σωματίδια είναι αυτά που ευθύνονται για δημιουργία ομίχλης, φαινόμενο έχει παρατηρηθεί στις Ηνωμένες Πολιτείες (EPA,2022)

#### 1.2.7.2 Επιπτώσεις στην άνθρωπο και στην υγεία

Τα αιωρούμενα σωματίδια ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ) είναι εισπνεόμενα, δηλαδή μέσω των αναπνευστικών οδών (μύτη, στόμα) εναποτίθενται στον οργανισμό του ανθρώπου. Τα  $PM_{2.5}$  λόγω μικρού μεγέθους εναποτίθενται στην επιφάνεια των βαθύτερων τμημάτων του πνεύμονα, ενώ τα  $PM_{10}$  επειδή είναι μεγαλύτερα από τα  $PM_{2.5}$  εναποτίθενται στην ανώτερη περιοχή του πνεύμονα. Είναι πολύ εύκολο να προκληθεί βλάβη των ιστών και φλεγμονή των πνευμόνων εξαιτίας των αιωρούμενων σωματιδίων (California Air Resources Board, 2023). Τα  $PM_{2.5}$  εκτιμάται ότι ελαττώνουν το προσδόκιμο ζωής του ανθρώπου κατά περισσότερο από οχτώ μήνες (European Environment Agency, 2020). Φαίνεται ότι η έκθεση σε χώρους με αιωρούμενα σωματίδια μπορεί να επιφέρει στον άνθρωπο σοβαρά προβλήματα πέρα από αυτά που προαναφέρθηκαν. Συγκεκριμένα ακόμα και αν η έκθεση διαρκέσει έως 24 ώρες είναι αρκετές ώστε να προκαλέσει έως και πρόωγη θνησιμότητα. Επίσης, άνθρωποι που έχουν εκτεθεί για μερικές ώρες έχουν εισαχθεί σε νοσοκομεία για καρδιακά και πνευμονικά αίτια η ακόμα και με αναπνευστικά προβλήματα. Η έκθεση στα  $PM_{10}$  μπορεί να προκαλέσει σε σύντομο χρονικό διάστημα αναπνευστικά προβλήματα όπως άσθμα ή και χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια (EPA, 2022). Οι ομάδες ανθρώπων που επηρεάζονται περισσότερο από αυτές τις συνθήκες είναι τα βρέφη, παιδιά, ηλικιωμένοι με προβλήματα στους πνεύμονες ή στην καρδιά (Environmental Defense Fund, 2023). Η μεγαλύτερη έκθεση σε αεροζόλ που διαρκεί από μήνες έως και χρόνια έχει δημιουργήσει μη αναστρέψιμα

προβλήματα στον άνθρωπο όπως ο θάνατος ειδικά σε άτομα που ανήκουν στις ευπαθείς ομάδες δηλαδή με χρόνιες καρδιακές ή πνευμονικές παθήσεις και σε παιδιά που δεν έχει αναπτυχθεί η πνευμονική τους λειτουργία. Σύμφωνα με μελέτη που δημοσιεύτηκε το 2015 από τον Διεθνή Οργανισμό Έρευνας για τον Καρκίνο (IARC) τα αιωρούμενα σωματίδια και η έκθεση του ανθρώπου σε αυτά προκαλούν καρκίνο του πνεύμονα. Ο λόγος που τα παιδιά και τα βρέφη ανήκουν στις ευπαθείς ομάδες σε ότι αφορά τα αναπνευστικά ζητήματα από τα αιωρούμενα σωματίδια είναι γιατί δεν έχουν αναπτύξει ακόμη αντισώματα στο ανοσοποιητικό τους σύστημα. Η ταχύτητα που αναπνέουν είναι μεγαλύτερη από εκείνη των ενηλίκων και επίσης έχουν μικρότερο σωματικά μέγεθος έτσι εισπνέουν περισσότερο αέρα ανά κιλό σωματικού βάρους από ότι κάποιος ενήλικας. Από μια σχετική έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Καλιφόρνια το 2010 φάνηκε ότι η έκθεση στα αιωρούμενα σωματίδια προκάλεσε τον πρόωρο θάνατο σε 5,400 άτομα εξαιτίας προβλημάτων καρδιακών ή πνευμονικών. Καθώς πραγματοποιήθηκαν 2,800 νοσηλείες στα νοσοκομεία και 6,700 επισκέψεις στα επείγοντα με συμπτώματα άσθματος. Η έρευνα διήρκησε ένα χρόνο (California Air Resources Board, 2023). Τα αιωρούμενα σωματίδια επίσης, συσχετίζονται με την ορατότητα. Συγκεκριμένα όπως το φως του ηλίου απορροφάται και διασκορπίζεται στην ατμόσφαιρα με την παρουσία των αεροζόλ μειώνεται η ορατότητα καθώς διαθλούν, διαχέουν η και αποκόπτουν το φως ανάλογα με το μέγεθος και την συγκέντρωση τους (Μουστρής Κ.Π., 2020).

### **1.3 Καύσεις γεωργικών υπολειμμάτων**

Η καύση γεωργικών υπολειμμάτων είναι η διαδικασία κατά την οποία καίγονται τα υπολείμματα φυτικής προέλευσης που παράγονται από την γεωργική διαδικασία (δέντρα, φυτά, φύλλα, καλαμιές κ.α.). Οι καύσεις αυτές μπορούν να γίνουν μαζικές μετά την διαδικασία του κλαδέματος ή και πιο αραιές. Η παραπάνω πρακτική χρησιμοποιείται κατά κόρον από αγρότες οι οποίοι ετοιμάζουν την γη για την καινούργια σοδιά. Επομένως, χρειάζονται μια γρήγορη λύση καθαρισμού των χωραφιών και απόρριψης των περιττών υπολειμμάτων (Etcheverry C., 2015). Για να πραγματοποιηθεί μια καύση είναι απαραίτητο να ακολουθηθεί σωστή και ασφαλείς διαδικασία οι οδηγίες που δίνονται από το Πυροσβεστικό σώμα είναι οι εξής:

- Έγκυρη ενημέρωση για τις καιρικές συνθήκες που θα επικρατούν την ημέρα που θα πραγματοποιηθεί η διαδικασία.
- Αναβολή καύσης σε περιπτώσεις που οι καιρικές συνθήκες κατά τόπους δεν είναι ευνοϊκές για την ομαλή καύση των υπολειμμάτων.
- Κατά την διαδικασία του κλαδέματος λαμβάνονται μέτρα ώστε να μην προκαλούνται σπινθήρες από μηχανικά μέσα.
- Τα υπολείμματα προς καύση συλλέγονται και τοποθετούνται σε στοιβάδες.
- Ιδανική η τοποθέτηση της στοιβάδας σε απόσταση ασφαλείας από στύλους, πυλώνες μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, στύλους τηλεπικοινωνιών και φωτισμού, υγραερίου, υγρών καυσίμων και εύφλεκτων υλικών.
- Πριν την καύση θα πρέπει να δημιουργηθεί μια αντιτυρική ζώνη γύρω από τα υλικά καύσης. Η ζώνη μπορεί να δημιουργηθεί με αγροτικό μηχάνημα ή με τσάπα και θα απέχει τουλάχιστον 10 μέτρα εάν βρίσκεται κοντά σε περιοχή με δάσος ενώ για τις υπόλοιπες περιοχές ισχύει η απόσταση  $3^{\omega\omega}$  μέτρων, ενώ η απόσταση των  $3^{\omega\omega}$  μέτρων θα πρέπει να ισχύει και για τις κτιριακές δομές όπως και για τις ξένες ιδιοκτησίες.
- Είναι απαραίτητο καθόλη την διεργασία της καύσης να γίνεται επόπτευση.
- Αποφυγή υπαίθριων θέρμων εργασιών.
- Δυνατότητα διαβροχής υλικών.
- Απαιτείται να υπάρχει άμεση πρόσβαση σε νερό (τουλάχιστον 200 λίτρων) ώστε σε περίπτωση δημιουργίας εστίας φωτιάς να μπορέσει να κατασβηστεί.
- Μετά το πέρας της διαδικασίας απαιτείται να σβηστεί η φωτιά και οποιαδήποτε υπόλειμμα υπάρχει καλύπτεται με χώμα και αδρανή υλικά.

(Αρτοποιός Γ.,2022), ( Χανιώτικα Νέα,2022)

Η περίοδος που μπορούν να πραγματοποιηθούν οι καύσεις είναι από 1<sup>η</sup> Νοεμβρίου έως και 31 Απριλίου το υπόλοιπο διάστημα, 1<sup>η</sup> Μαΐου έως 31 Οκτωβρίου, είναι αντιτυρική περίοδος (Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδας, 2022). Αντιτυρική περίοδος είναι το διάστημα στο οποίο δεν πραγματοποιούνται καύσεις για την προστασία των δασών της χώρας.

Η καύση αποτελεί μια γρήγορη και οικονομική διαδικασία που όμως επιφέρει και αρνητικές συνέπειες. Οι συνέπειες αυτές έχουν αντίκτυπο στο περιβάλλον και στην ενίσχυση της

ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Συγκεκριμένα από την καύση γεωργικών υπολειμμάτων παράγονται μεγάλες ποσότητες σωματιδιακού ρύπου, μαύρου άνθρακα και τοπικά στο σημείο που πραγματοποιείται η καύση μειώνεται η γονιμότητα του εδάφους (Etcheverry C., 2015).

#### **1.4 Επιπτώσεις περιβαλλοντικών καύσεων**

Οι καύσεις γεωργικών υπολειμμάτων όπως προαναφέρθηκε επιφέρουν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Οι επιπτώσεις είναι βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες. Ένα από τα σημαντικότερα βραχυπρόθεσμα μειονεκτήματα είναι η έκλυση αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Τα αιωρούμενα σωματίδια προέρχονται από τα υπολείμματα που καίγονται, δηλαδή είναι σωματίδια οργανικών υλικών και σωματίδια ρύπων που προέρχονται από τις στιγμιαίες χημικές αντιδράσεις που διαφέρουν ανάλογα με το προϊόν καύσης. Τα σωματίδια που εκλύονται είναι τα γνωστά PM. Η διαφορά που εντοπίζεται αφορά στο μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων.

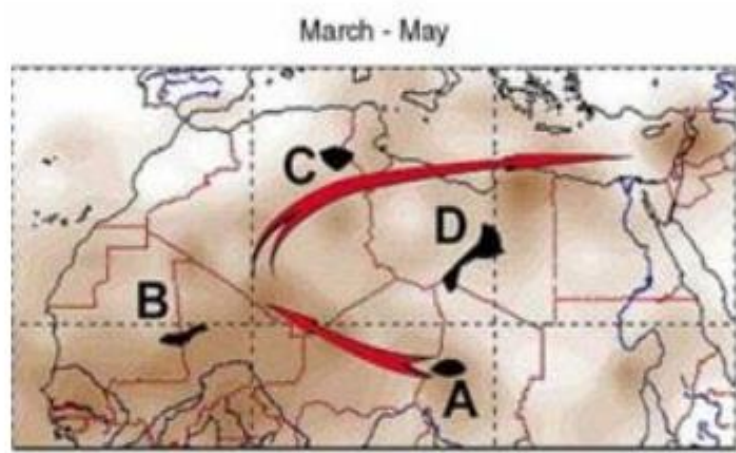
Όταν πραγματοποιούνται συστηματικά καύσεις στο ίδιο σημείο, το έδαφος χάνει την γονιμότητα του και έτσι ελαττώνεται η απόδοση των καλλιεργειών μακροπρόθεσμα.

Μακροπρόθεσμη επίπτωση της καύσης γεωργικών υπολειμμάτων είναι η αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου, φαίνεται ότι οι καύσεις τις βιομάζας φέρουν τεράστια ευθύνη για την αύξηση των παγκοσμίων εκπομπών του μονοξειδίου του άνθρακα και του μαύρου άνθρακα (Xin Huang, 2016).

#### **1.5 Αφρικανική σκόνη**

Το φαινόμενο μεταφοράς σκόνης από περιοχές της Αφρικής είναι αρκετά συχνό και σημαντικό για την αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Κύρια πηγή σκόνης από την ήπειρο της Αφρικής αποτελεί η έρημος Σαχάρα. Η έρημος Σαχάρα βρίσκεται στο Βόρειο τμήμα της ηπείρου και αποτελεί παγκοσμίως μια από τις μεγαλύτερες εκτάσεις άμμου. Η άμμος με κατάλληλες μετεωρολογικές συνθήκες μεταφέρεται στην ευρύτερη περιοχή της Μεσόγειου, με την μορφή αιωρούμενων σωματιδίων. Οι ευνοϊκές μετεωρολογικές συνθήκες δεν είναι άλλες από δυνατούς ανέμους οι οποίοι αρχικά πνέουν πάνω από τις αμμώδεις εκτάσεις και στην συνέχεια μεταφέρονται στην ευρύτερη περιοχή. Από το φαινόμενο δεν επηρεάζονται

μόνο περιοχές της Μεσογείου αλλά και οι: Νότια Αμερική, ανατολική ακτή των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, ο Ατλαντικός ωκεανός και η Ευρώπη. Πέρα από την έρημο, μεγάλο ποσοστό σκόνης με Αφρικανική προέλευση μεταφέρεται και από την κοιλάτη Bodille που βρίσκεται στο Τσαντ. Από την συγκεκριμένη πηγή μεταφέρονται ετησίως 1.270 εκ. τόνοι σκόνης. Η τροχιά από την οποία πλήττεται η Ευρώπη με σκόνη από την Σαχάρα είναι η εξής: ξεκινάει Βόρεια της Αφρικής πάνω από την Μεσόγειο Θάλασσα φτάνει στο Νότο της Ευρώπης και αρκετές είναι οι φορές που καταλήγει στις Σκανδιναβικές χώρες. Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 1.7 την άνοιξη οι πηγές σκόνης μέσω του αέρα διασπείρουν την σκόνη στο ανατολικό κομμάτι της Μεσογείου (Καραχρήστου Π., 2014).



Εικόνα 1.7: Πορεία Αφρικανικής σκόνης την άνοιξη, με A, B, C, D, να συμβολίζουν τις πηγές σκόνης ενώ το κόκκινο βέλος δείχνει την πορεία που ακολουθεί. Πηγή: NASA

Συνολικά 2 με 3 δισεκατομμύρια τόνοι σκόνης έχει υπολογιστεί ότι μεταφέρονται στον πλανήτη ετησίως από όλες τις πηγές σκόνης προς όλο τον πλανήτη. Το νούμερο είναι τόσο μεγάλο καθώς τα τελευταία χρόνια με τις τεράστιες κλιματικές αλλαγές (αποψίλωση δασών, φαινόμενο του θερμοκηπίου κ.α.) έχει παρατηρηθεί ότι ελαττώνονται οι βραχώδεις περιοχές και αυξάνονται οι περιοχές με άμμο. Η Αφρικανική σκόνη μπορεί να αποδειχτεί επιζήμια για την υγεία διότι μεταφέρει στοιχεία όπως μόλυβδος, μαγγάνιο, αρσενικό ψευδάργυρος κ.α. (Δρ. Βιττωράκης Σ., 2020).

Ένα από τα μεγαλύτερα φαινόμενα μεταφοράς σκόνης σημειώθηκε το 1991 όπου η σκόνη έφτασε από την Σικελία στην Σουηδία, διένυσε δηλαδή απόσταση 320,000 km<sup>2</sup>. Σύμφωνα με μετρήσεις που έγιναν το 1980 φαίνεται ότι ετησίως μεταφέρονται από την Νότια Αλγερία και τη Δυτική Σαχάρα-Νότιο Μαρόκο προς Δυτική Ευρώπη 80-120 εκατομμύρια τόνοι σκόνης

(Καραχρήστου Π.,2014). Στις 22 Μαρτίου του 2018 καταγράφηκε στην Κρήτη ένα από τα πιο έντονα φαινόμενα μεταφοράς σκόνης. Κατά την διάρκεια του φαινομένου στα Χανιά η μέγιστη τιμή σκόνης που καταγράφηκε ήταν το μεσημέρι εκείνης της ημέρα και είχε τιμή  $595 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , μετά από μία ώρα το φαινόμενο σημείωσε ραγδαία αύξηση και έτσι στο Ηράκλειο σημειώθηκε η τιμή των  $4,730 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ενώ δύο ώρες αργότερα καταγράφηκαν  $6,340 \mu\text{g}/\text{m}^3$  στη Φινοκαλιά Λασιθίου. Οι καταγραφές μετρήθηκαν από τους αντίστοιχους σταθμούς που είναι εγκατεστημένοι μέχρι και σήμερα από την εθνική ερευνητική υποδομή ΠΑΝΑΚΕΙΑ (PANACEA- PAN Hellenic Infrastructure for Atmospheric Composition and climate change) σε συνεργασία με το Πολυτεχνείο και Πανεπιστήμιο Κρήτης (Radiolasithi, 2018).

### 1.6 Μέτρα προστασίας από την ατμοσφαιρική ρύπανση

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί ένα σύγχρονο πρόβλημα το οποίο εξελίσσεται συνεχώς, λόγω του μεγάλου πληθυσμού της γης και των νέων αναγκών των ανθρώπων. Είναι απαραίτητο να μειωθεί το φαινόμενο, όπως φάνηκε και παραπάνω από τις μεγάλες και σοβαρές επιπτώσεις που έχει στην φύση αλλά και στον άνθρωπο. Κάθε κράτος δημιουργεί μέτρα προστασία κατά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ο αρχικός στόχος των μέτρων είναι να μειωθεί το φαινόμενο καθώς με τις τρέχουσες διαστάσεις του είναι πολύ δύσκολο να εξαλειφθεί. Παρακάτω αναλύονται κάποια από τα μέτρα που έθεσε η Κύπρος για το ζήτημα:

- Κυκλοφορία οχημάτων νέας τεχνολογίας που δεν θα χρησιμοποιούν για καύσιμο πετρέλαιο ή βενζίνη αλλά καταλύτη ή θα είναι ηλεκτρικά.
- Αντικατάσταση παλαιών οχημάτων με καινούργια που θα έχουν καλύτερες προδιαγραφές.
- Περιοδικός έλεγχος καυσαερίων οχημάτων.
- Προσπάθεια ένταξης Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για χρήση.
- Τοποθέτηση συστημάτων συλλογής σκόνης σε καμινάδες και φουγάρα
- Περιορισμός ανεξέλεγκτης διασποράς σκόνης από χώρους όπου παράγεται κατά κόρον όπως λατομεία
- Εγκατάσταση μονάδων ολοκληρωμένων εγκαταστάσεων διαχείρισης αποβλήτων.
- Τέλος ενίσχυση των τοπικών μέτρων όπως επέκταση πεζοδρομίων, ποδηλατοδρόμων, επίστρωση χώρων στάθμευσης, καθαρισμός δρόμων στις πόλεις και μεταφορά μαθητών μέσω των μέσων μαζικής μεταφοράς από και προς τα σχολεία.



(Υπουργείο εργασίας, πρόνοιας και κοινωνικών ασφαλίσεων, 2017)

Η Ευρωπαϊκή Ένωση δεν έχει μείνει αμέτοχη στην παγκόσμια προσπάθεια να μειωθεί η κλιματική αλλαγή και οι επιπτώσεις της. Αρχικά η Ευρωπαϊκή Ένωση συμμετέχει στην συμφωνία του Παρισιού. Πρόκειται για μια συμφωνία που αφορά στην κλιματική αλλαγή και εγκρίθηκε στο Παρίσι το 2015. Συνολικά στην συμφωνία συμμετέχουν 195 χώρες και η Ευρωπαϊκή Ένωση με τα κράτη μέλη της είναι μέσα σε αυτές. Σκοπός της συμφωνίας είναι να σταματήσουν να αυξάνονται οι θερμοκρασίες του πλανήτη (περιορίζοντας την θερμοκρασία κάτω από 2°C) και να μειωθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Η Ευρώπη Ένωση μέχρι το 2050 θα πρέπει να είναι κλιματικά ουδέτερη σύμφωνα με τον ευρωπαϊκό νόμο για το κλίμα. Κλιματική ουδετερότητα πρακτικά λοιπόν σημαίνει να σταματήσει η κλιματική αλλαγή και να μειωθεί η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1.5 βαθμούς σε παγκόσμιο επίπεδο. Η συμφωνία είναι νομικά δεσμευτική και επίσημα υπάρχει και στην Ευρωπαϊκή Ένωση από το 2016. Στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι έως το 2050 να γίνει η πρώτη ήπειρος που θα καταφέρει την κλιματική ουδετερότητα με μηδενικές εκπομπές άνθρακα.

## **Κεφάλαιο 2: Περιγραφή περιοχής μελέτης και οργάνων δειγματοληψιών**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν δειγματοληπτικές μετρήσεις συγκεντρώσεων μάζας αιωρούμενων σωματιδίων ( $PM_{10}$ ), στην Επισκοπή Αγυιάς Χανίων. Η περίοδος μετρήσεων διήρκεσε συνολικά 36 ημέρες, την άνοιξη του 2022 κατά τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο και Μάιο. Το μηχάνημα καταγραφής των αιωρούμενων σωματιδίων στην περιοχή της Επισκοπή ήταν το DustTrak II, ενώ το μηχάνημα που χρησιμοποιήθηκε για την σύγκριση των αποτελεσμάτων με στόχο την εκτενέστερη κατανόηση τους ήταν το SHARP. Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται οι περιοχές μελέτης και τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν.

### **2.1 Περιγραφή περιοχής μελέτης**

#### 2.1.1 Επισκοπή

Η Επισκοπή (35.46N, 23.9E) ανήκει στον Δήμο Χανίων και είναι ένας οικισμός της κοινότητας Αγυιάς με 44 κατοίκους (σύμφωνα με την απογραφή του 2011). Η Επισκοπή χαρακτηρίζεται αγροτική και ημιαστική περιοχή καθώς έχει λίγα σπίτια, κεντρικούς δρόμους αλλά και μεγάλες εκτάσεις με καλλιέργειες για παράδειγμα πορτοκαλιές, αβοκάντο και ελιές. Η περιοχή βρίσκεται σε απόσταση 9.8 χιλιομέτρων από το κέντρο των Χανίων και 6.7 χιλιομέτρων από την θάλασσα μέσω του οδικού δικτύου. Η τοπογραφία της περιοχής ποικίλει καθώς έχει μεγάλες εκτάσεις πεδινές ενώ πολύ κοντά υπάρχουν λόφοι και η λίμνη της Αγυιάς απέχει 1 χιλιόμετρο. Η Επισκοπή έχει λόγω της λίμνης αρκετή υγρασία, οι άνεμοι δεν είναι ιδιαίτερα ισχυροί ενώ παρουσιάζει και αρκετή ηλιοφάνεια.

#### 2.1.2 Ακρωτήρι

Στην περιοχή Ακρωτηρίου (35.5N, 24.1E) βρίσκεται ο σταθμός του Ακρωτηρίου, εντός του Πολυτεχνείου Κρήτης στον οποίο είναι μόνιμα τοποθετημένο το όργανο SHARP. Η περιοχή είναι παραθαλάσσια απέχει μόλις 2 χιλιόμετρα από την θάλασσα, ενώ από το κέντρο των Χανίων απέχει 5 χιλιόμετρα. Η περιοχή χαρακτηρίζεται ως ημιαστική/αγροτική, καθώς πολύ

κοντά υπάρχει οικισμός και παράλληλα υπάρχει μια μεγάλη έκταση με καλλιεργήσιμη γη και βραχώδεις εκτάσεις. Η περιοχή έχει αρκετή υγρασία λόγω της μικρής απόστασης από την θάλασσα, επίσης έχει αρκετή ηλιοφάνεια και ανέμους.

## 2.2 Περιγραφή οργάνων δειγματοληψιών

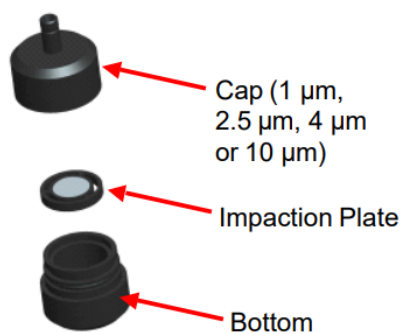
### 2.2.1 Περιγραφή οργάνου DustTrakII

Το όργανο της εταιρίας TSI, Dust Trak II μοντέλο 8530EP, χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων ( $PM_{10}$ ) στην περιοχή της Επισκοπής.

Η αρχή λειτουργίας του οργάνου βασίζεται στην σκέδαση του φωτός. Απελευθερώνει μια δέσμη λέιζερ στον εισερχόμενο αέρα, η οποία συγκρούεται με τα αιωρούμενα σωματίδια που βρίσκονται στον αέρα και διέρχονται μέσα από τη δέσμη. Κατά τη σύγκρουση, το φως διασπάται και διαχέεται σε ποικίλες κατευθύνσεις. Αυτή η διάσπαση συμβαίνει όταν το φως αλληλεπιδρά με τα σωματίδια. Ένας αισθητήρας σκέδασης φωτός τοποθετείται γωνιακά από την αρχική δέσμη φωτός και ανιχνεύει το σκεδαζόμενο φως. Το Dust Trak II μετράει την ένταση του σκεδαζόμενου φωτός που φτάνει στον αισθητήρα, και με βάση αυτές τις μετρήσεις υπολογίζει τη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων.

Το Dust Trak II είναι στην ουσία ένα επιτραπέζιο όργανο με εξωτερική αντλία που δίνει την δυνατότητα παρακολούθησης σκόνης της εκάστοτε περιοχής για αρκετές ημέρες.

Προϋπόθεση για την σωστή λειτουργία του είναι να έχουν χρησιμοποιηθεί για την συναρμολόγηση του μηχανήματος τα εξαρτήματα της εταιρίας TSI τα οποία αποστέλλονται μαζί με το όργανο με τις οδηγίες χρήσης. Το Dust Trak II έχει την ευκολία να λειτουργεί είτε με μπαταρίες είτε με μετασχηματιστή εναλλασσόμενου ρεύματος. Για τις μετρήσεις συνδέθηκε το όργανο μέτρησης με εναλλασσόμενο ρεύμα ώστε να μην χρειαστεί η επαναφόρτιση του και να μετρήσει το όργανο για αρκετές ώρες χωρίς διακοπή. Το Dust Trak II είναι σχεδιασμένο ώστε ανάλογα με την κεφαλή που τοποθετείται να μετράει διαφορετικού μεγέθους σωματίδια, συγκεκριμένα έχει την δυνατότητα να μετρήσει τα κλάσματα των  $PM_{1.0}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{4.0}$  και  $PM_{10}$ . Η κάθε κεφαλή αποτελείται από το καπάκι, την πλάκα πρόσκρουσης και τη βάση (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1: Κεφαλή Dust Trak II αποσυναρμολογούμενη ώστε να διακρίνονται τα 3 μέρη του: καπάκι, πλάκα πρόσκρουσης και κάτω μέρος.

Στην πλάκα πρόσκρουσης τοποθετείται λάδι πριν από κάθε μέτρηση, το ειδικό αυτό λάδι βοηθάει την σκόνη να κολλάει στην πλάκα, εξίσου σημαντικό είναι πριν τοποθετηθεί το λάδι στην πλάκα πρόσκρουσης και τα 3 μέρη της κεφαλής να έχουν καθαριστεί από τυχόν σκόνες. Αφού λοιπόν συνδεθούν όλα τα εξαρτήματα του Dust Trak II με την σωστή σειρά σύμφωνα με τις οδηγίες χρήσης που προβλέπονται από την εταιρία το όργανο είναι έτοιμο για χρήση (Εικόνα 2.2).

Αφού συνδεθεί στο ρεύμα το μηχάνημα πατώντας το κεντρικό κουμπί ανοίγει η οθόνη του μόνιτορ. Η οθόνη του οργάνου είναι αφής, έτσι εύκολα οποιοσδήποτε μπορεί να ρυθμίσει την ώρα, ημερομηνία, διάρκεια μετρήσεων, κάθε πόσα λεπτά θα γίνεται η εκάστοτε δειγματοληψία, το όνομα του αρχείου και οτιδήποτε άλλο χρειαστεί. Αναλυτικότερα Main είναι η αρχική οθόνη όπου φαίνονται η ημερομηνία και ώρα, το όνομα του αρχείου που θα αποθηκευτούν τα δεδομένα όταν ξεκινάει η καταγραφή και φαίνεται η τιμή μάζας των  $PM_{10}$ . Επίσης σημαντικά είναι και τα STEL, Flow, Laser και Filter που φαίνονται στην αρχική οθόνη γιατί όταν μετράει το όργανο και έχουν οι κουκίδες πράσινο χρώμα σημαίνει ότι όλα είναι σωστά διαφορετικά εάν εμφανιστεί κόκκινο χρώμα υπάρχει κάπου λάθος. Από το Start ξεκινάει η καταγραφή των αιωρούμενων σωματιδίων. Το Graph αντιστοιχεί στο γράφημα που δημιουργείται με τις μετρήσεις των  $PM_{10}$  με την ημερομηνία και ώρα.



Εικόνα 2.2.: Τελική μορφή Dust Trak II μετά την συνομολόγηση.

Το Set up δίνει στοιχεία σχετικά με τον σειριακό αριθμό του οργάνου, αριθμό μοντέλου, έκδοση υλικό λογισμικού, ημερομηνία βαθμονόμησης, χρόνο λειτουργία της αντλίας, ποσότητα μάζας που διέρχεται από το όργανο από την τελευταία βαθμονόμηση, αλλαγή φίλτρου και χρόνο φίλτρου. Δηλαδή δίνεται η δυνατότητα μέσω του Setup να δημιουργηθεί αρχείο με το όνομα χρόνο και οτιδήποτε άλλο επιθυμεί ο χρήστης. Από το Run Mode μπορεί να αλλάξει το διάστημα καταγραφής, η διάρκεια δοκιμής, η σταθερά χρόνου, το όνομα καταγραφής, το αρχείο καταγεγραμμένων δεδομένων, ημερομηνία-ώρα έναρξης και το διάστημα αυτόματου μηδενισμού.

Από το όργανο για να ληφθούν τα δεδομένα υπάρχουν 2 τρόποι, ο ένας είναι απευθείας με στικάκι ενώ ο δεύτερος γίνεται με την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή και χρειάζεται το πρόγραμμα TrakPro.

#### 2.2.2 Περιγραφή οργάνου SHARP

Το όργανο SHARP (Synchronized Hybrid Ambient Real-time Particulate) μοντέλο 5030i της εταιρίας Thermo Fisher Scientific ήταν το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση των αιωρούμενων σωματιδίων στην περιοχή του Ακρωτηρίου. Το συγκεκριμένο όργανο μέτρησης είναι ένα υβριδικό νεφελομετρικό/ακτινομετρικό όργανο μέτρησης μάζας σωματιδίων. Παρέχει την δυνατότητα μέτρησης μάζας  $PM_{1.0}$ ,  $PM_{2.5}$  και  $PM_{10}$ , σε πραγματικό χρόνο με ακριβείς μετρήσεις. Το μηχάνημα λειτουργεί με βάση την σκέδαση του φωτός, ενώ είναι κατάλληλο ώστε να διατηρεί τη σχετική υγρασία του αέρα που διέρχεται. Αυτό το καταφέρνει καθώς διατηρεί την θερμοκρασία σταθερή στο επιθυμητό κάθε φορά επίπεδο. Έτσι, το παραπάνω εξασφαλίζει την αξιοπιστία των μετρήσεων αφού το περιβάλλον στο οποίο

πραγματοποιούνται θερμαίνεται μόνο όταν χρειάζεται και μειώνει το ποσοστού επηρεασμού της υγρασίας στα σωματίδια. Το όργανο δίνει δεδομένα μάζας αιωρούμενων σωματιδίων για κάθε λεπτό, ενώ παράλληλα δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να έχει συνεχείς μετρήσεις χωρίς να χρειάζεται να το παρακολουθεί και ρυθμίζει. Αυτό το καταφέρνει καθώς έχει την αυτόματη λειτουργία μέτρησης χωρίς βήμα, που ελαχιστοποιεί την πιθανότητα μη καταμέτρησης αεροζόλ.

Ακολουθώντας το εγχειρίδιο χρήσης συναρμολογείτε βήμα –βήμα από τον χρήστη ενώ χρειάζεται συντήρηση ανά μεγάλα χρονικά διαστήματα. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.3 από το γκρι στόμιο του οργάνου εισέρχεται ο ατμοσφαιρικός αέρας ο οποίος ανιχνεύεται από το νεφελομέτρο εντός του οργάνου και στην συνέχεια περνάει από το φίλτρο.



Εικόνα 2.3: Μόνιτορ οργάνουSHARP

Το SHARP πραγματοποιεί αλλαγή φίλτρου αυτόματα όταν αυτό ξεπερνά τα 500  $\mu\text{g}$  από το λογισμικό του οργάνου τουλάχιστον κάθε 24 ώρες. Οι αλλαγές γίνονται ως εξής: η αντλία του οργάνου σταματά, κατεβαίνει η πλάκα θαλάμου κενού και προωθεί την ταινία φίλτρου κατά ένα σταθερό μήκος, ανυψώνεται η πλάκα θαλάμου κενού και ξεκινά εκ νέου η λειτουργία της αντλίας. Μετά την αλλαγή του φίλτρου οι μετρήσεις μάζας μηδενίζονται. Η ώρα που θα γίνει η αλλαγή φίλτρου αλλάζει όπως και το διάστημα αλλαγής αυτού.

Η οθόνη του οργάνου είναι 320x240 pixels και σε εκείνη ο χρήστης μπορεί να δει τις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων, τις παραμέτρους των οργάνων, να κάνει έλεγχο του οργάνου και να διαβάσει τα μηνύματα τυχόν σφάλματος. Τα πλήκτρα που υπάρχουν κάτω από εκείνη χρησιμεύουν ώστε ο χρήστης να μπορεί εύκολα να περιηγηθεί στην οθόνη. Κάθε πλήκτρο πάνω στο όργανο μέτρησης δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να κάνει διαφορετικές κινήσεις. Μερικές από αυτές είναι μετακίνηση κέρσορα προς τα πάνω, κάτω, αριστερά και δεξιά, δυνατότητα επιστροφής στην αρχική οθόνη καταγραφών (Run screen)

όπως και στο κεντρικό μενού. Από την οθόνη μπορούν να εισαχθούν γράμματα νούμερα οι και άλλοι χαρακτήρες. Τα πλήκτρα του οργάνου βοηθούν το χρήστη να σχηματίσει λέξεις. Όταν ενεργοποιείται το όργανο μέσω τις παροχής ρεύματος και μετά την προθέρμανσή του στην οθόνη εμφανίζεται το 'Run', δηλαδή το όργανο είναι έτοιμο για μέτρηση αιωρούμενων σωματιδίων. Στην συνέχεια στην οθόνη εμφανίζονται οι τρέχουσες συγκεντρώσεις αλλά διαθέτει και πρόσθετες πληροφορίες για τις συνθήκες περιβάλλοντος, συνθήκες δείγματος και για τα δεδομένα αισθητήρα μάζας.

Από το RANGE επιλέγονται οι μονάδες συγκέντρωσης. Το AVG κρατάει τον μέσο όρο των τελευταίων 24 ωρών. Το DIAGS παρέχει πρόσβαση σε διαγνωστικές πληροφορίες και λειτουργίες. Το ALARM ειδοποιεί εάν χρειάζεται κάποια αλλαγή, όπως αλλαγή ταινίας φίλτρου, ισχύς θερμάστρας και αλλαγή στοιχείων. Επιπλέον το μηχάνημα δίνει την δυνατότητα βαθμονόμησης, η οποία είναι εξαιρετικά σημαντική για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Ο χρήστης μπορεί να πληκτρολογήσει την σωστή ώρα και ημέρα πριν ξεκινήσουν οι μετρήσεις.

## **2.3 Μετεωρολογικά δεδομένα**

Μετεωρολογικά δεδομένα αποκτήθηκαν από το Poseidon System και από το Μετεωρολογικό Σταθμό Αλικιανού Χανίων. Το Poseidon System είναι μια ιστοσελίδα πρόγνωσης καιρού όπου δίνεται η δυνατότητα με την βοήθεια του χάρτη της ιστοσελίδας να βρεθεί ακριβώς η περιοχή που ενδιαφέρει τον κάθε χρήστη έπειτα υπάρχουν δεδομένα που αφορούν στην θερμοκρασία, την ταχύτητα και διεύθυνση αέρα, την ατμοσφαιρική πίεση, τη σκόνη, τη χιονόπτωση και τη νεφοκαλυψη. Όλα τα δεδομένα δίνονται ανά τρεις ώρες ξεκινώντας από 00: 00. Ο Μετεωρολογικός σταθμός του Αλικιανού είναι ένας μετεωρολογικός σταθμός του δήμου Πλατανιά σε συνεργασία με το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών και το Πολυτεχνείο Κρήτης όπου καταγράφει σε πραγματικό χρόνο τις εξής παραμέτρους: θερμοκρασία, υγρασία, πίεση, βροχόπτωση διεύθυνση και ένταση ανέμου. Όλα τα δεδομένα καταγραφών υπάρχουν στην ιστοσελίδα του σταθμού με μορφή διαγραμμάτων για 24 ώρες ενώ υπάρχουν και δεδομένα για περασμένους μήνες.

## 2.4 Μοντέλο HYSPLIT

Το μοντέλο HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) δημιουργήθηκε από το εργαστήριο NOAA (Air Resources Laboratory of the National Oceanic and Atmospheric Administration) αλλιώς ονομάζεται μοντέλο τροχιάς, και μοντελοποιεί τις κινήσεις των αέριων.

Για την εφαρμογή του μοντέλου πρέπει να εισαχθούν οι συντεταγμένες της περιοχής μελέτης, η διάρκεια των τροχιών και η ημερομηνία/ώρα. Για την παρούσα διπλωματική εργασία η διάρκεια των τροχιών ήταν 120 ώρες, η ώρα ήταν 12UTC και η συντεταγμένες για την Επισκοπή ήταν 35.4N-23.9E ενώ για το Ακρωτήρι 35.5N-24.1ΕΔ τέλος, τέλος οι μοντελοποιήσεις πραγματοποιήθηκαν για ύψος 500 μέτρων πάνω από το έδαφος.

.



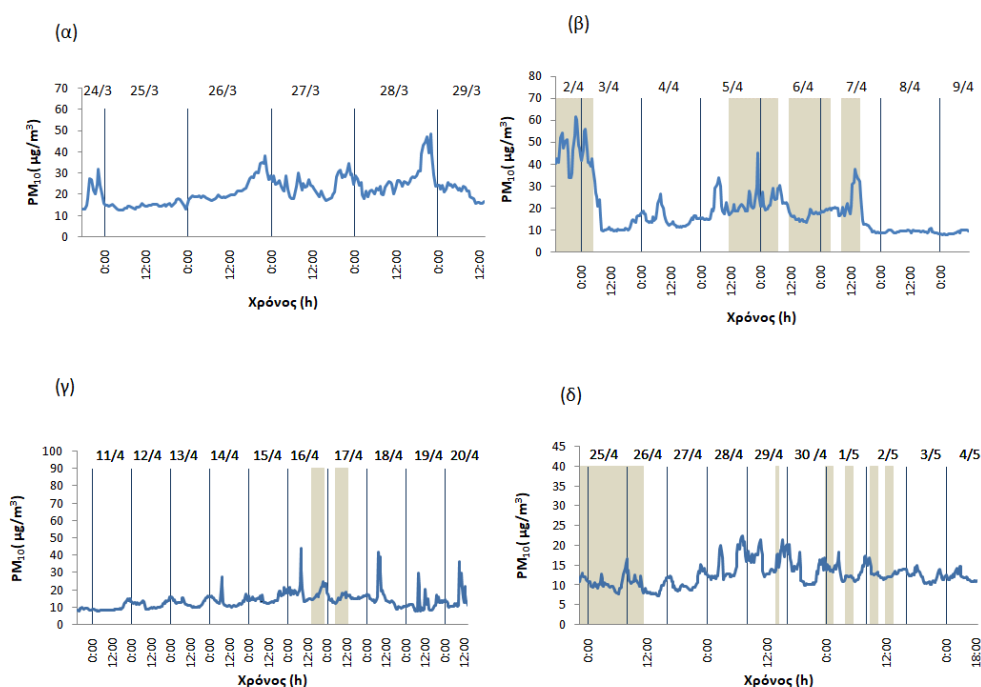
## Κεφάλαιο 3: Ανάλυση δεδομένων

### 3.1 Συγκεντρώσεις PM<sub>10</sub>

Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάστηκε η συγκέντρωση των PM<sub>10</sub> στην περιοχή μελέτης (Επισκοπή Χανίων). Πιο συγκεκριμένα, οι διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων μάζας PM<sub>10</sub> ήταν αρκετά έντονες ανάμεσα στις δειγματοληψίες. Μεγαλύτερο εύρος τιμών εμφάνισε η 2<sup>η</sup> δειγματοληψία (Εικόνα 3.1β), και ακολούθησαν η 1<sup>η</sup> δειγματοληψία (Εικόνα 3.1α), η 3<sup>η</sup> δειγματοληψία (Εικόνα 3.1γ) και τέλος με μικρότερο εύρος τιμών η 4<sup>η</sup> δειγματοληψία (Εικόνα 3.1δ). Παρατηρώντας (Εικόνα 3.1) τις χρονικές περιόδους (παραδείγματος χάρι στην Εικόνα 3.1β στις 8.4.2022 έως την Εικόνα 3.1γ στις 11.4.2022) όπου οι διακυμάνσεις των PM<sub>10</sub> δεν ήταν έντονες, φάνηκε ότι σταθερά οι τιμές των PM<sub>10</sub> κυμάνθηκαν από 7 μg/m<sup>3</sup> μέχρι 12 μg/m<sup>3</sup> έτσι θεωρήθηκε ότι συγκέντρωση υποβάθρου ήταν τα 10 μg/m<sup>3</sup> για την συγκεκριμένη περιοχή μελέτης και για την περίοδο που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση μάζας των PM<sub>10</sub> ήταν τα 61.6 μg/m<sup>3</sup> η οποία καταγράφηκε στις 2.4.2022, ενώ η μικρότερη συγκέντρωση μάζας των PM<sub>10</sub> ήταν τα 7.3 μg/m<sup>3</sup> η οποία καταγράφηκε στις 26.4.2022.

Αναλυτικότερα στην πρώτη περίοδο μετρήσεων η υψηλότερη συγκέντρωση μάζας PM<sub>10</sub> άγγιξε τα 48.5 μg/m<sup>3</sup> και η μικρότερη τα 12.5 μg/m<sup>3</sup> (Εικόνα 3.1α). Η μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων ξεπέρασε την συγκέντρωση υποβάθρου δηλαδή τα 10 μg/m<sup>3</sup> όλη την διάρκεια αυτής της περιόδου και διατηρήθηκε στα 20 μg/m<sup>3</sup> με αρκετές διακυμάνσεις, όπως αυτή που παρατηρήθηκε στις 28.3.2022. Στην δεύτερη περίοδο των μετρήσεων (Εικόνα 3.1β) η υψηλότερη συγκέντρωση μάζας των PM<sub>10</sub> άγγιξε τα 61.6 μg/m<sup>3</sup> και η μικρότερη τα 7.7 μg/m<sup>3</sup>. Χαρακτηριστικό της δεύτερης περιόδου είναι το κύμα Αφρικανικής σκόνης που υπήρξε στην περιοχή τις πέντε (5) από τις συνολικά οκτώ (8) ημέρες καταγραφών. Στην τρίτη περίοδο μετρήσεων (Εικόνα 3.1γ) η υψηλότερη συγκέντρωση μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> άγγιξε τα 44.2 μg/m<sup>3</sup> και η μικρότερη τα 7.7 μg/m<sup>3</sup>. Στην αρχή της περιόδου παρατηρήθηκαν χαμηλές τιμές των PM<sub>10</sub>, στην συνέχεια ακολούθησε το φαινόμενο μεταφοράς Αφρικανικής σκόνης και έπειτα έντονες διακυμάνσεις αιωρούμενων σωματιδίων. Στην τέταρτη και τελευταία περίοδο μετρήσεων (Εικόνα 3.1δ) η υψηλότερη συγκέντρωση μάζας των PM<sub>10</sub> άγγιξε τα 22.4 μg/m<sup>3</sup> και η μικρότερη τα 7.3 μg/m<sup>3</sup>. Η περίοδος χαρακτηρίστηκε από πολλές και έντονες διακυμάνσεις των αιωρούμενων σωματιδίων σε συνδυασμό με το φαινόμενο

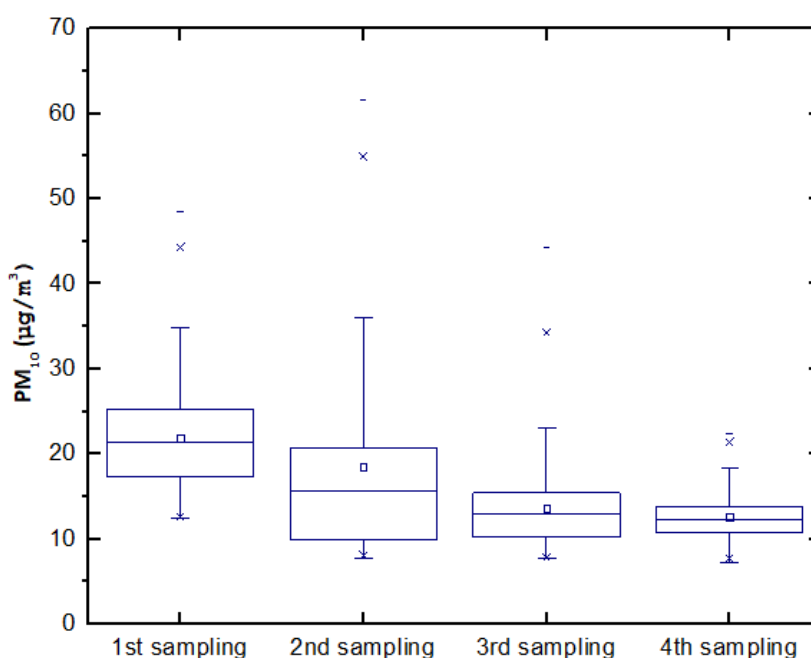
Αφρικανικής σκόνης που υπήρξε στην περιοχή μελέτης. Το φαινόμενο διαπιστώθηκε μέσω των: Poseidon System, Μετεωρολογικό Σταθμό Αλικιανού Χανίων, zoom earth και μοντέλο Hysplit. Οι παραπάνω διακυμάνσεις συνολικά οφείλονταν σε πολλούς και διαφορετικούς παράγοντες οι κυριότεροι όμως λόγω περιοχής και εποχής πειράματος ήταν: καύσεις γεωργικών υπολειμμάτων, καύσεις από άλλες ανθρωπογενείς πηγές όπως τζάκια, σκόνη Σαχάρας, άνοδος της θερμοκρασίας που έντεινε την φωτοχημική διάσπαση χημικών ενώσεων, αιωρούμενα σωματίδια λόγω κυκλοφοριακού.



**Εικόνα 3.1:** Διαγράμματα χρονοσειρών συγκεντρώσεων  $PM_{10}$  ( $\mu g/m^3$ ) για κάθε μια από τις 4 περιόδους μετρήσεων, στην Επισκοπή. Οι τιμές των συγκεντρώσεων μάζας αντιστοιχούν στο μέσο όρο ανά μισή ώρα καταγραφών. Οι καφέ στήλες συμβολίζουν την Αφρικανική σκόνη: (α) 1<sup>η</sup> δειγματοληψία, διάρκειας από 24 Μαρτίου 2022 έως 29 Μαρτίου 2022, (β) 2<sup>η</sup> δειγματοληψία, διάρκειας από 2 Απριλίου 2022 έως 9 Απριλίου 2022, (γ) 3<sup>η</sup> δειγματοληψία, διάρκειας από 10 Απριλίου 2022 έως 20 Απριλίου 2022, (δ) 4<sup>η</sup> δειγματοληψία, διάρκειας από 24 Απριλίου 2022 έως 4 Μαΐου 2022.

Στη συνέχεια η Εικόνα 3.2 παρουσιάζει με μορφή θηκογράμματος τις μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων για τις 4 περιόδους δειγματοληψίας. Φάνηκε ότι η πρώτη δειγματοληψία χαρακτηρίστηκε από υψηλότερες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων καθώς στο 25% η μάζα των  $PM_{10}$  ήταν  $17.3 \mu g/m^3$  και στο 75%  $25.3 \mu g/m^3$ . 25%. Αυτό σημαίνει

ότι στο θηκόγραμμα το 25% των τιμών ήταν μικρότερες από το  $17.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , αντίστοιχα το 75% σημαίνει ότι το 25% των τιμών ήταν μεγαλύτερες από το  $25.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Η δειγματοληψία με τις χαμηλότερες μετρήσεις ήταν η 4<sup>η</sup> όπου στο 25% αντιστοιχούσε η μέτρηση των  $10.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  και στο 75% η  $13.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Το παραπάνω ενδεχομένως να οφειλόταν στην άνοδο των θερμοκρασιών κατά την 4<sup>η</sup> περίοδο μετρήσεων και στο γεγονός ότι από τις 1.5.2022 και μετά απαγορεύονταν οι καύσεις γεωργικών υπολειμμάτων άρα μειώθηκαν και οι απότομες αυξήσεις  $\text{PM}_{10}$  που προκαλούνταν λόγω αυτών. Επίσης η 2<sup>η</sup> δειγματοληψία είχε το μεγαλύτερο πλήθος τιμών ανάμεσα στο 25% με 75%. Αυτό οφειλόταν στο κύμα Αφρικανικής σκόνης που υπήρξε εκείνη την περίοδο. Η ίδια περίοδος είχε τις υψηλότερες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων. Οι τιμές των διαμέσων (median) ήταν:  $21.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $15.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $13.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  και  $12.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  για την 1<sup>η</sup>, 2<sup>η</sup>, 3<sup>η</sup> και 4<sup>η</sup> δειγματοληψία αντίστοιχα. Οι τρεις τελευταίες περιόδους μετρήσεων είχαν φαινόμενα μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα, και περισσότερες διακυμάνσεις στην μάζα των  $\text{PM}_{10}$ , όμως δεν επηρέασαν την τιμή της διαμέσου καθώς όπως φάνηκε η τιμή της διαμέσου της πρώτης δειγματοληψίας ήταν η υψηλότερη.



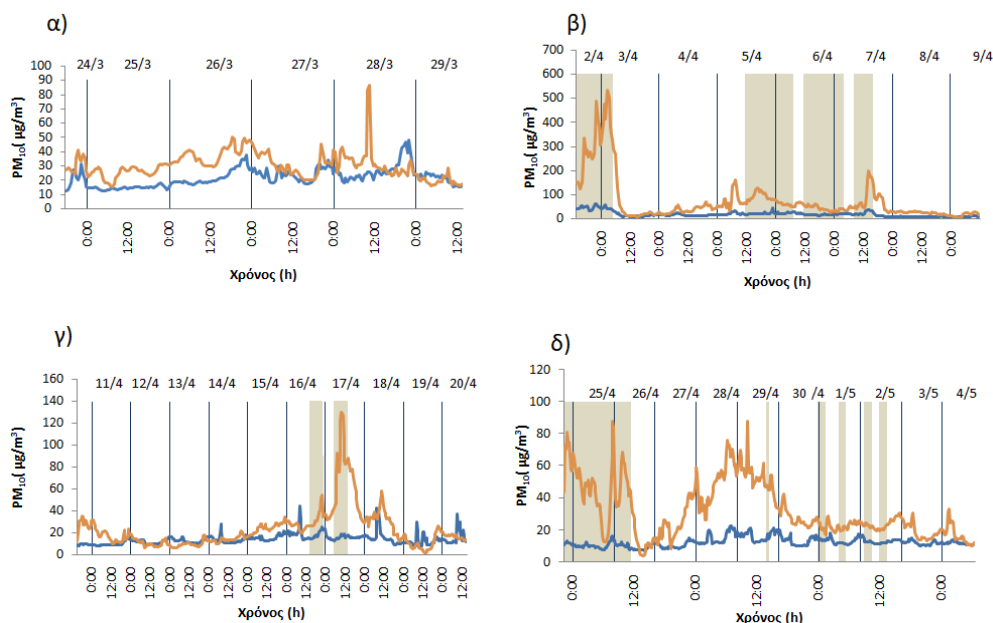
Εικόνα 3.2: Θηκόγραμμα συγκεντρώσεων  $\text{PM}_{10}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ανά μισή ώρα καταγραφών για κάθε μια από τις περιόδους μετρήσεων, στην Επισκοπή. Οι τιμές ανάμεσα στην μεγαλύτερη και μικρότερη τιμή αντιπροσωπεύουν το 25%, 50% και 75 %.

### 3.2 Σύγκριση με σταθμό Ακρωτηρίου

Οι μετρήσεις παρουσίασαν εμφανή διαφορά στο εύρος τιμών για κάθε περιοχή μετρήσεων. Οι τιμές του Ακρωτηρίου ήταν συνολικά μεγαλύτερες ενώ υπήρξαν μερικές μετρήσεις στις οποίες η διαφορά ήταν σχεδόν δεκαπλάσια. Συγκεκριμένα η μεγαλύτερη συγκέντρωση μάζας  $PM_{10}$  του Ακρωτηρίου μετρήθηκε κατά την δεύτερη περίοδο μετρήσεων και η τιμή της έφτασε τα  $533.6 \mu g/m^3$ , αντίστοιχα η μεγαλύτερη συγκέντρωση μάζας αιωρούμενων σωματιδίων για την Επισκοπή εμφανίστηκε την ίδια χρονική περίοδο με την τιμή  $61.6 \mu g/m^3$ . Κοινό χαρακτηριστικό των χρονοσειρών (Εικόνα 3.3) αποτέλεσαν οι έντονες διακυμάνσεις που αρκετές ημέρες των πειραμάτων ήταν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και με διαφορετικό κάθε φορά εύρος τιμών. Τα παραπάνω εξηγήθηκαν λόγω τις διαφορετικής τοποθεσίας και άρα του διαφορετικού περιβάλλοντα χώρου, υψομέτρου και επίδρασης (τοπικών) πηγών.

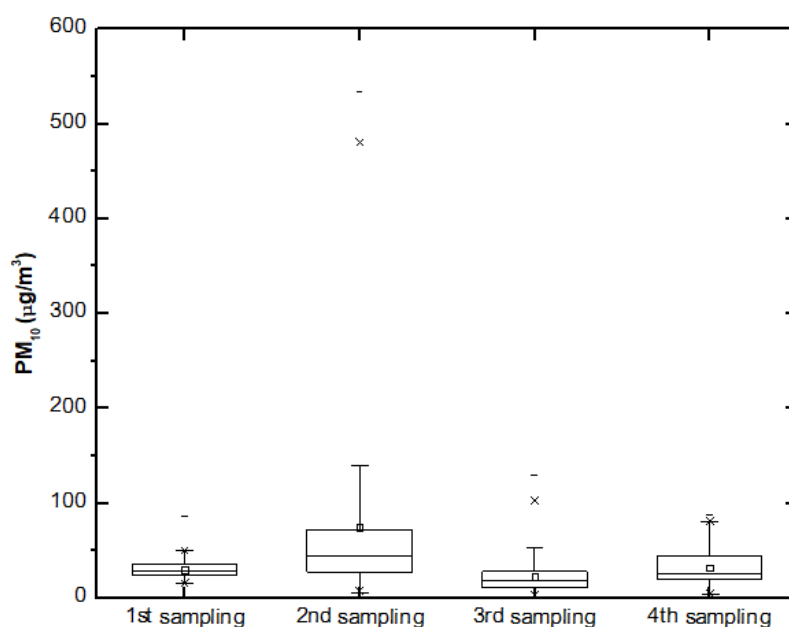
Αναλυτικότερα στην πρώτη περίοδο μετρήσεων (Εικόνα 3.3α) οι συγκεντρώσεις μάζας  $PM_{10}$  κυμάνθηκαν μεταξύ  $86.7 \mu g/m^3$  έως  $15.2 \mu g/m^3$  (Ακρωτήρι) και  $48.5 \mu g/m^3$  έως  $12.5 \mu g/m^3$  (Επισκοπή). Στην δεύτερη περίοδο των μετρήσεων (Εικόνα 3.3β) οι συγκεντρώσεις μάζας  $PM_{10}$  για το Ακρωτήρι κυμάνθηκαν από  $533.6 \mu g/m^3$  έως  $5.7 \mu g/m^3$  ενώ για την Επισκοπή από  $61.6 \mu g/m^3$  έως  $7.7 \mu g/m^3$ . Χαρακτηριστικό της περιόδου αποτέλεσε η διαφορά στο εύρος τιμών η οποία οφειλόταν στο φαινόμενο μεταφοράς σκόνης από την Σαχάρα. Στην Εικόνα 3.3γ οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{10}$  κυμανθήκαν από  $129.9 \mu g/m^3$  μέχρι  $1.6 \mu g/m^3$  και από  $44.2 \mu g/m^3$  μέχρι  $7.7 \mu g/m^3$  για το Ακρωτήρι και την Επισκοπή αντίστοιχα. Η περιοχή του Ακρωτηρίου είχε μία διακύμανση που φανέρωσε την ύπαρξη πηγής που στην συγκεκριμένη περίπτωση ήταν πάλι από το φαινόμενο μεταφοράς σκόνης από Σαχάρα, ενώ στην περιοχή της Επισκοπής είχε περισσότερες εναλλαγές τιμών χωρίς να συμπίπτουν με το ίδιο φαινόμενο άρα φανέρωσε την ύπαρξη τοπικών σημειακών πηγών. Η τελευταία περίοδος μετρήσεων (Εικόνα 3.3δ) έδωσε συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων που κυμάνθηκαν από  $87.9 \mu g/m^3$  έως  $4.2 \mu g/m^3$  (Ακρωτήρι) και από  $22.4 \mu g/m^3$  έως  $12.5 \mu g/m^3$  (Επισκοπή). Όπως φάνηκε και από την εικόνα οι μετρήσεις των  $PM_{10}$  στην Επισκοπή παρουσίασαν έντονη ανομοιομορφία με τις μετρήσεις από την περιοχή μελέτης Ακρωτήρι καθώς ήταν αρκετά μεγαλύτερες και για μεγάλο χρονικό διάστημα άρα δεν έγινε αναφορά σε κάποια τοπική πηγή. Επιπλέον, το κύμα Αφρικανικής σκόνης που φαίνεται στο διάγραμμα από 24.4 έως 26.4 ήταν αρκετά αισθητό στις συγκεντρώσεις μαζών των  $PM_{10}$  στην περιοχή του Ακρωτηρίου ενώ αντίθετα δεν προκάλεσε

μεγάλες διαφορές στα αιωρούμενα σωματίδια της περιοχής Επισκοπής . Αυτό οφειλόταν στην διαφορετική τοποθεσία της κάθε περιοχής.



**Εικόνα 3.3:** Διαγράμματα χρονοσειρών μετρήσεων αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{10}$  ( $\mu g/m^3$ ), που μετρήθηκαν κατά μέσο όρο ανά μισή ώρα καταγραφών των δύο περιοχών μελέτης. Η πορτοκαλί γραμμή αντιστοιχεί στις μετρήσεις στην περιοχή Ακρωτηρίου ενώ η μπλε γραμμή στις μετρήσεις στην Επισκοπή Χανίων.

Στην Εικόνα 3.4 οι συγκεντρώσεις διαμέσων για την 1<sup>η</sup>, 2<sup>η</sup>, 3<sup>η</sup> και 4<sup>η</sup> δειγματοληψία ήταν: 28.9  $\mu g/m^3$ , 43.9  $\mu g/m^3$ , 18.1  $\mu g/m^3$  και 25.8  $\mu g/m^3$  αντίστοιχα. Παρατηρήθηκε ότι η 2<sup>η</sup> δειγματοληψία έχει εμφανώς μεγαλύτερο πλήθος τιμών αλλά και τα αιωρούμενα σωματίδια είχαν μεγαλύτερες τιμές (25% 27.5  $\mu g/m^3$  – 75% 72.4  $\mu g/m^3$ ), αντίθετα στην Εικόνα 3.2 η 1<sup>η</sup> δειγματοληψία είχε μεγαλύτερες τιμές ανάμεσα στα 25% -75% αλλά η 2<sup>η</sup> δειγματοληψία εμφάνισε το μεγαλύτερο εύρος τιμών. Η δειγματοληψία που ακολουθεί την 2<sup>η</sup> κατά φθίνουσα σειρά (Εικόνα 3.4) σε ότι αφορά στις τιμές των 25% και 75% ήταν η 3<sup>η</sup> δειγματοληψία με τιμές 11.8  $\mu g/m^3$  και 28.2  $\mu g/m^3$  αντίστοιχα. Άρα για αυτήν την περιοχή μελέτης (Ακρωτήρι) οι δειγματοληψίες όπου παρατηρούνται περισσότερες ημέρες με διακυμάνσεις κυρίως λόγω σκόνης Σαχάρας ήταν αυτές που είχαν δημιουργήσει και τα πιο μεγάλα θηκογράμματα.



**Εικόνα 3.4:** Θηκόγραμμα συγκεντρώσεων PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) ανά μισή ώρα καταγραφών για κάθε μια από τις περιόδους μετρήσεων, στο Ακρωτήρι. Οι τιμές ανάμεσα στην μεγαλύτερη και μικρότερη τιμή αντιπροσωπεύουν το 25%, 50% και 75%.

### 3.3 Καύσεις γεωργικών υπολειμμάτων

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάστηκαν όλες οι μετρήσεις που συνδέονταν με το φαινόμενο καύσης γεωργικών υπολειμμάτων. Παρουσιάστηκε η δειγματοληψία, η ημερομηνία, η διάρκεια καύσης η μέγιστη τιμή μάζας και το ποσοστό αύξησης των PM<sub>10</sub>.

Για να ταυτοποιηθεί το φαινόμενο λήφθηκαν υπόψη κάποιες παραδοχές. Καύσεις γεωργικών υπολειμμάτων δεν πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια της νύχτας και οι ημέρες με έντονο φαινόμενος μεταφοράς σκόνης Σαχάρας δεν προσμετρήθηκαν. Επιπλέον, διακυμάνσεις που κράτησαν πάνω από 3 ώρες δεν θεωρήθηκαν καύσεις γεωργικών υπολειμμάτων.

Καταγράφηκαν συνολικά 16 καύσεις από τις οποίες οι 3 έγιναν στην 1<sup>η</sup> Δειγματοληψία, 1 στην 2<sup>η</sup> δειγματοληψία, 10 στην 3<sup>η</sup> δειγματοληψία και 2 στην 4<sup>η</sup> δειγματοληψία, όπου αυτό αντιστοιχεί σε ποσοστά 18.75%, 6.25%, 62.5% και 12.5%. Όπως φάνηκε οι περισσότερες καύσεις γεωργικών υπολειμμάτων έγιναν την 3<sup>η</sup> περίοδο μετρήσεων. Οι καύσεις διήρκεσαν από μισή ώρα μέχρι 2.5 ώρες, με μέσο όρο καύσης την 1 ώρα. Η πλειοψηφία αυτών πραγματοποιήθηκαν τις πρωινές

ώρες συγκεκριμένα το 70% των καύσεων έγιναν το διάστημα 6:30-9:00. Τότε η υγρασία ήταν ακόμα σε υψηλά ποσοστά (ακόμα και 80%) και έτσι αποφεύχθηκε ο κίνδυνος πυρκαγιάς. Οι υπόλοιπες καύσεις πραγματοποιήθηκαν από τις 9:00-19:00, δηλαδή το 12% των καύσεων ήταν από 9:00-12:00, 12% μεταξύ 12:00-15:00 και 6% από 15:00-18:00. Η υψηλότερη τιμή μάζας αιωρούμενων σωματιδίων ήταν τα 44.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  που καταγράφηκαν στις 16.4.2022 το διάστημα 7:00-9:00, ενώ η μικρότερη ήταν τα 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  που εμφανίστηκαν 19.4.2022 διάρκειας μισής ώρα από 13:30 μέχρι 14:00.

Η 3<sup>η</sup> περίοδος δειγματοληψιών είχε τις περισσότερες καύσεις. Αυτό δικαιολογείται καθώς ευνοούνταν λόγω των θερμοκρασιών, δηλαδή δεν είχαν ανέβει ακόμη σε υψηλά επίπεδα και αυτός ο παράγοντας ευνοούσε τις αγροτικές εργασίες. Επίσης η υγρασία ακόμα ήταν σε υψηλά ποσοστά άνω των 70% και έτσι μειωνόταν ο κίνδυνος πυρκαγιάς.

Σε κάθε καύση ξεχωριστά είχε υπολογιστεί για την διάρκεια της κατά μέσο όρο το ποσοστό αύξησης των  $\text{PM}_{10}$ . Το μεγαλύτερο ποσοστό μετρήθηκε στην 3<sup>η</sup> περίοδο δειγματοληψιών στις 19.4.2022 με ποσοστό 277%. Το ποσοστό δηλώνει ότι η υψηλότερη τιμή  $\text{PM}_{10}$  που μετρήθηκε σε σχέση με τη συγκέντρωση των αεροζόλ πριν και μετά την καύση ήταν αυξημένη κατά 277%. Αντίστοιχα σύμφωνα με τις μετρήσεις η μικρότερη αύξηση κατά την διάρκεια καύσης ήταν η εκείνη που μετρήθηκε την 2<sup>η</sup> περίοδο δειγματοληψιών, 27.3.2022 με ποσοστό 13%.

Πίνακας 3.1: Πίνακας αναλυτικών στοιχείων κάθε καύσης.

	Δειγματοληψία	Ημερομηνία	Ώρες	Διάρκεια (h)	Υψηλότερη τιμή $\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Μ.ό. ποσοστού αύξησης $\text{PM}_{10}$ (%)
1	1 <sup>η</sup>	27.3.2022	7:30-9:30	2	29.9	44
2	1 <sup>η</sup>	27.3.2022	11:00-11:30	0.5	26.8	13
3	1 <sup>η</sup>	28.3.2022	9:00-11:00	2	26.0	32
4	2 <sup>η</sup>	4.4.2022	6:30-9:00	2.5	26.3	67
5	3 <sup>η</sup>	13.4.2022	7:00-9:00	2	15.6	29
6	3 <sup>η</sup>	14.4.2022	7:00-8:00	1	27.9	111
7	3 <sup>η</sup>	16.4.2022	7:00-9:00	2	44.2	145
8	3 <sup>η</sup>	18.4.2022	7:00-9:00	2	42.2	183
9	3 <sup>η</sup>	19.4.2022	8:00-9:00	1	29.8	277
10	3 <sup>η</sup>	19.4.2022	12:00-12:30	0.5	20.6	97
11	3 <sup>η</sup>	19.4.2022	13:30-14:00	0.5	15	48

12	3 <sup>η</sup>	19.4.2022	18:30-19:00	0.5	17.1	34
13	3 <sup>η</sup>	20.4.2022	9:00-9:30	0.5	36.5	137
14	3 <sup>η</sup>	20.4.2022	10:30-11:00	0.5	29.8	57.
15	4 <sup>η</sup>	28.4.2022	7:30-9:30	2	20	67
16	4 <sup>η</sup>	30.4.2022	8:00-8:30	0.5	18.3	41

### 3.4 Φαινόμενο μεταφοράς Αφρικανικής σκόνης.

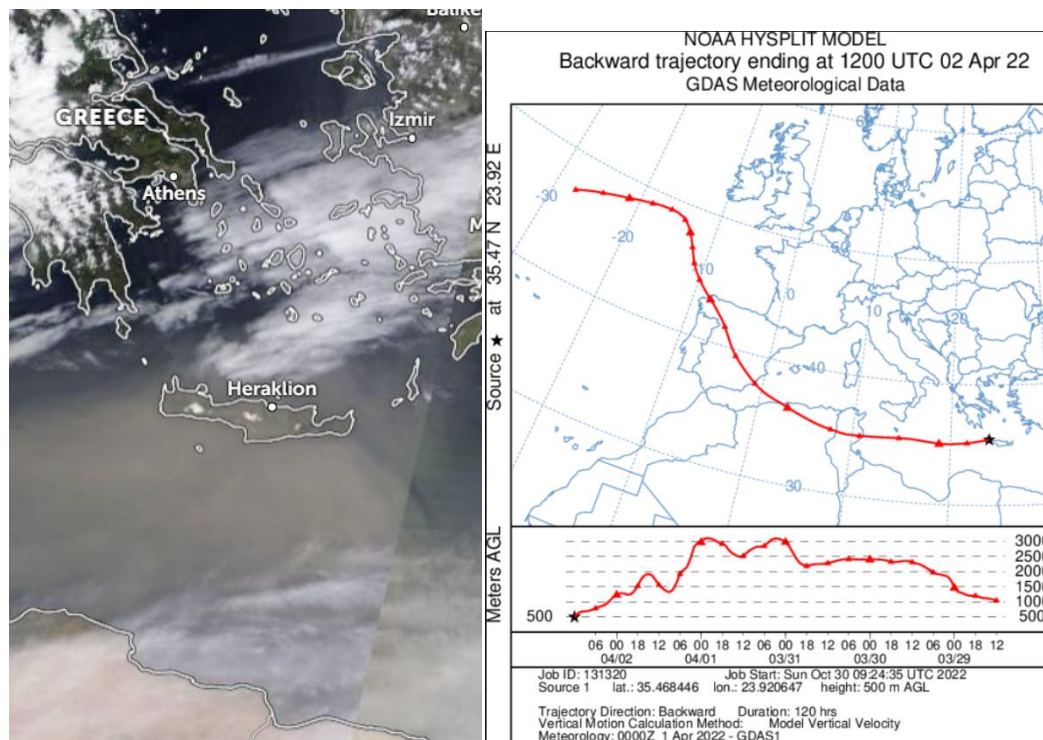
Κατά την διάρκεια των μετρήσεων υπήρξε και το φαινόμενο μεταφοράς σκόνης Σαχάρας. Το οποίο φάνηκε (Πίνακας 3.4) ότι επηρέασε την 2<sup>η</sup>, 3<sup>η</sup> και 4<sup>η</sup> δειγματοληψία. Το 35% των μετρήσεων αιωρούμενων σωματιδίων στην 2<sup>η</sup> δειγματοληψία επηρεάστηκαν από το φαινόμενο, στην 3<sup>η</sup> δειγματοληψία επηρεάστηκε το 6% ενώ στην 4<sup>η</sup> δειγματοληψία το 22%. Το παραπάνω αντιστοιχεί σε 58.5, 15 και 53.5 ώρες αντίστοιχα για την 2<sup>η</sup>, 3<sup>η</sup> και 4<sup>η</sup> δειγματοληψία. Υπήρξαν ημέρες όπου το φαινόμενο διήρκεσε 38.5 ώρες αλλά και 1.5 ώρα. Οι μετρήσεις μάζας PM<sub>10</sub> κυρίως στην 2<sup>η</sup> δειγματοληψία φάνηκε ότι είχαν επηρεαστεί περισσότερο όσον αφορά στην αύξηση τους, δηλαδή θεωρώντας τιμή υποβάθρου τα 10 μg/m<sup>3</sup> οι τιμές είχαν αυξηθεί κατά 600% στο πρώτο φαινόμενο μεταφοράς σκόνης Σαχάρας που καταγράφηκε. Φυσικά υπήρξαν και ημέρες όπου το φαινόμενο ανέβασε αισθητά τις μετρήσεις χωρίς όμως να γίνεται αναφορά σε τεράστια αύξηση τιμών, όπως η αύξηση που καταγράφηκε 1.5.2022 αυξήθηκε κατά 12% από την τιμή υποβάθρου. Για μεγαλύτερη κατανόηση του φαινομένου παρατέθηκε η Εικόνα 3.4.1. Στην Εικόνα 3.4.1 φάνηκε αρχικά ο δορυφορικός χάρτης της Κρήτης 2.4.2022. Εκείνη την ημέρα ήταν αρκετά έντονο το φαινόμενο σκόνης Σαχάρας, καθώς όπως φαίνεται και από την εικόνα ένα στρώμα σκόνης είχε σκεπάσει την Κρήτη και τις γύρω περιοχές. Η επόμενη φωτογραφία απεικονίζει την πορεία του ανέμου την ίδια χρονική περίοδο με την προηγούμενη έτσι φάνηκε ακόμα πιο έντονα ότι ο άνεμος ήταν νότιας προέλευσης και έτσι δικαιολογείται η σκόνη Σαχάρας.

Πίνακας 3.4: Μετρήσεις αεροζόλ κατά την διάρκεια μεταφοράς Αφρικανικής σκόνης.

Δειγματοληψία	Έναρξη φαινομένου	Λήξη φαινομένου	Διάρκεια (h)	Υψηλότερη τιμή PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )
2 <sup>η</sup>	2.4.2022 (1:00)	3.4.2022 (4:30)	15	61.5



2 <sup>η</sup>	5.4.2022 (10:30)	6.4.2022 (6:30)	19.5	45.1
2 <sup>η</sup>	6.4.2022 (10:30)	7.4.2022 (3:30)	16.5	19.4
2 <sup>η</sup>	7.4.2022 (8:30)	7.4.2022 (3:00)	7.5	37.5
3 <sup>η</sup>	17.4.2022 (1:30)	17.4.2022 (9:30)	7.5	24.8
3 <sup>η</sup>	18.4.2022 (4:30)	18.4.2022 (12:30)	7.5	18.9
4 <sup>η</sup>	24.4.2022 (19:30)	26.4.2022 (9:30)	38.5	16.6
4 <sup>η</sup>	19.4.2022 (5:00)	19.4.2022 (6:30)	1.5	17.5
4 <sup>η</sup>	30.4.2022 (22:30)	1.5.2022 (3:30)	4.5	15.1
4 <sup>η</sup>	1.5.2022(10:30)	1.5.2022 (3:30)	4.5	12.3
4 <sup>η</sup>	2.5.2022 (1:30)	2.5.2022 (6:30)	4.5	15.7



Εικόνα 3.4.1: Η πρώτη εικόνα απεικονίζει μια δορυφορική φωτογραφία Κρήτης στις 2.4.2022, ενώ η δεύτερη είναι κατεύθυνσης ανέμου προς Κρήτη 2.4.2022 μέσω του μοντέλου HYSPLIT, το μαύρο αστέρι δείχνει ακριβώς την περιοχή μελέτης που εντοπίστηκε μέσω των συντεταγμένων. Πηγή: zoom earth, Hysplit

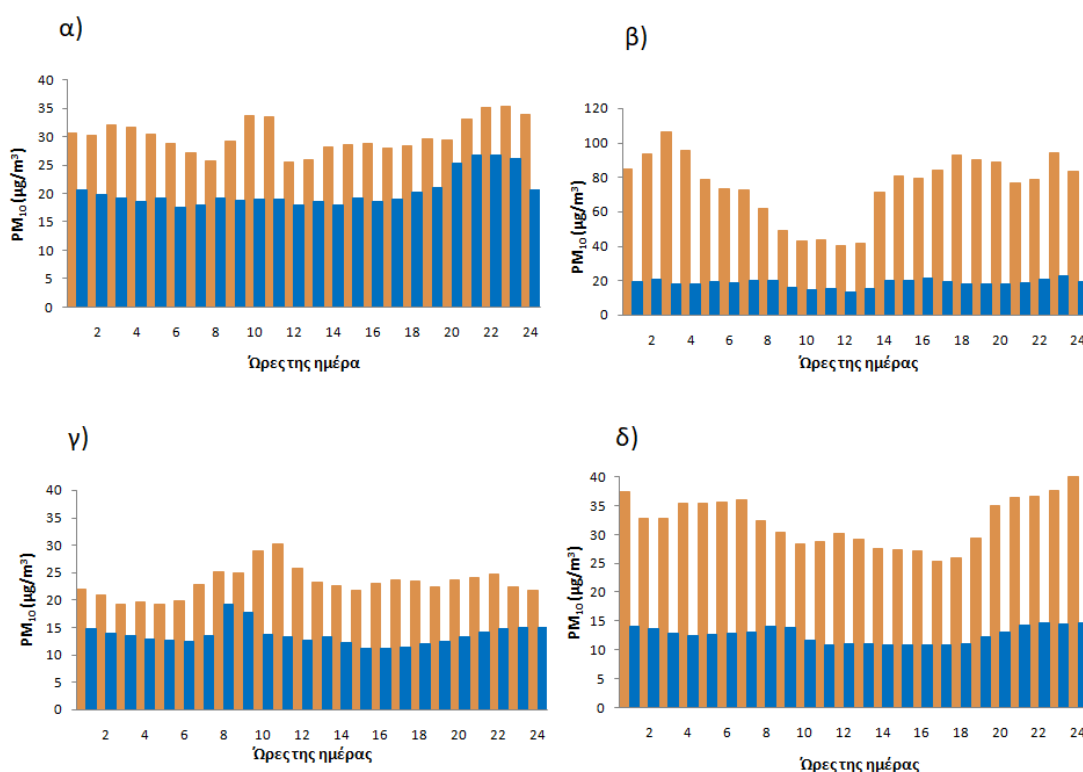
### 3.5 Ωριαίες διακυμάνσεις

Στην Εικόνα 3.5 παρουσιάζονται για κάθε περίοδο δειγματοληψιών τα ημερήσια δεδομένα  $PM_{10}$  για τις δυο περιοχές μελέτης Επισκοπή και Ακρωτήρι, όπου υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές για κάθε ώρα της ημέρας όλων των ημερών σε κάθε περίοδο μετρήσεων ξεχωριστά. Όπως εύκολα παρατηρήθηκε οι διακυμάνσεις και στις δυο περιοχές μελέτης ήταν έντονες σε διαφορετικά σημεία των χρονοσειρών, ημέρες και ώρες, αυτό αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό των αστικών περιοχών. Για την Επισκοπή φάνηκε στην Εικόνα 3.5α και 3.5β ότι οι τιμές της μάζας των  $PM_{10}$  ήταν μεγαλύτερες από τις τιμές στις Εικόνες 3.5γ και 3.5δ. Επίσης φάνηκε να υπάρχει από τις 21:00 μέχρι τις πρώτες πρωινές ώρες μια μικρή αύξηση των συγκεντρώσεων. Το παραπάνω μπορεί να συμβεί εξαιτίας κάποιας πηγής η καθώς την νύχτα το οριακό στρώμα της γης κατεβαίνει και εξασθενούν οι άνεμοι άρα αυξάνονται τα αεροζόλ.

Αναλυτικότερα στην Εικόνα 3.5α η πιο έντονη αύξηση αιωρούμενων σωματιδίων μετρήθηκε από τις 19:00 μέχρι τις 23:00, η οποία ενδέχεται να οφείλεται στα τζάκια και στις σόμπες που λειτουργούσαν οι κάτοικοι της περιοχής εκείνη την περίοδο μετρήσεων όπου οι θερμοκρασίες ακόμα ήταν πιο χαμηλές. Η 2<sup>η</sup> περίοδος δειγματοληψιών (Εικόνα 3.5β) παρουσίαζε μια εμφανή πτώση μαζών των  $PM_{10}$  από τις 10:00 μέχρι 12:00. Η 3<sup>η</sup> περίοδος δειγματοληψιών (Εικόνα 3.5γ) είχε μια μεγάλη αύξηση τις πρώτες πρωινές ώρες δηλαδή σε ώρες που ευνοούνταν οι καύσεις γεωργικών υπολειμμάτων. Η Εικόνα 3.5δ δεν είχε ιδιαίτερες διαφορές αιωρούμενων σωματιδίων ανάμεσα στις ώρες. Επομένως φάνηκε πως δεν υπήρξε ιδιαίτερα μεγάλη συσχέτιση συγκέντρωσης μάζας των  $PM_{10}$  με την ώρα της ημέρας εκτός από λίγες περιπτώσεις όπως εκείνη που προαναφέρθηκε για την Εικόνα 3.5γ.

Συγκρίνοντας τις 2 περιοχές μελέτης (Επισκοπή και Ακρωτήρι) φάνηκε ότι για την πρώτη περίοδο μετρήσεων (Εικόνα 3.5α) υπήρξε ομοιότητα από τις 16:00 και μετά ενώ κύρια διαφορά των διαγραμμάτων αποτέλεσε η άνοδος της συγκέντρωσης των  $PM_{10}$  από τις 10:00 μέχρι τις 12:00 που ενδεχομένως οφειλόταν σε κάποια τοπική πηγή είτε σε καύσεις είτε ακόμα λόγω αυξημένης κίνησης αυτοκινήτων στην περιοχή. Στην Εικόνα 3.5β η περιοχή του Ακρωτηρίου είχε μεγαλύτερο εύρος μάζας αιωρούμενων σωματιδίων και η διακύμανση των  $PM_{10}$  μέσα στις ώρες της ημέρας ήταν αρκετά πιο μεγάλη. Ωστόσο φάνηκε πως τα διαγράμματα ταυτίζονταν ως προς την μείωση και αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων τις ώρες 10:00 με 12:00 και από τις 23:00 μέχρι 24:00. Η ταύτιση αυτή οφειλόταν στην

απομάκρυνση του φαινομένου μεταφοράς σκόνης Σαχάρας. Παρατηρήθηκε μεγάλη διαφορά στο εύρος των  $PM_{10}$  που φαινόταν από τον άξονα γ. Συγκεκριμένα ενώ οι Εικόνες α, γ και δ στον άξονα γ είχαν ως μεγαλύτερη τιμή τα  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , στην Εικόνα 3.5β ήταν τα  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Η Εικόνα 3.5γ για το Ακρωτήρι εμφάνισε άνοδο των τιμών για τις ώρες 6:00 με 12:00 που οφείλονταν σε τοπικές πηγές όπως τζάκια, καύσεις γεωργικών υπολειμμάτων και κίνηση στον δρόμο. Παρόμοια αύξηση υπήρξε και στην Επισκοπή με μικρότερη διάρκεια κατά προσέγγιση από τις 8:00 μέχρι 10:00. Στην τελευταία περίοδο δειγματοληψιών τα διαγράμματα (Εικόνα 3.5δ) ταυτίζονται από τις 18:00 μέχρι 24:00 με αύξηση της μάζας των  $PM_{10}$ . Η περιοχή του Ακρωτηρίου εμφάνισε περισσότερες διακυμάνσεις αεροζόλ, που οφείλονταν στις διαφορετικές τοπικές πηγές.



Εικόνα 3.5: Διάγραμμα συγκεντρώσεων μάζας  $PM_{10}$  για κάθε δειγματοληψία με βάση την ώρα της κάθε ημέρας. Τα α, β, γ, δ αντιστοιχούν στην 1<sup>η</sup>, 2<sup>η</sup>, 3<sup>η</sup>, και 4<sup>η</sup> δειγματοληψία για την περιοχή της Επισκοπής με μπλε ενώ για την περιοχή Ακρωτηρίου αντιστοιχεί το πορτοκαλί χρώμα.

### 3.6 Συσχέτιση αιωρούμενων σωματιδίων με μετεωρολογικά δεδομένα\_

Απαραίτητη κρίθηκε η σύγκριση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων με τα δεδομένα για την θερμοκρασία, την ταχύτητα του ανέμου, την υγρασία, την βαρομετρική πίεση και την ηλιακή ακτινοβολία. Από το Πίνακα 3.2 φάνηκε ότι η 1<sup>η</sup>, 2<sup>η</sup> και 3<sup>η</sup> δειγματοληψία δεν σχετίζονταν με την θερμοκρασία, αντίθετα η 4<sup>η</sup> δειγματοληψία εμφάνισε χαμηλή αρνητική συσχέτιση (-0.41) με τα αιωρούμενα σωματίδια.

Πίνακας 3.2: Συσχέτιση Pearson αιωρούμενων σωματιδίων με θερμοκρασία ταχύτητα ανέμου υγρασία βαρομετρική πίεση και ηλιακή ακτινοβολία για την Επισκοπή. Τα 1<sup>η</sup>, 2<sup>η</sup>, 3<sup>η</sup> και 4<sup>η</sup> αντιστοιχούν στις 1<sup>η</sup> δειγματοληψία, 2<sup>η</sup> δειγματοληψία, 3<sup>η</sup> δειγματοληψία και 4<sup>η</sup> δειγματοληψία.

	1 <sup>η</sup>	2 <sup>η</sup>	3 <sup>η</sup>	4 <sup>η</sup>
Θερμοκρασία	-0.11	-0.07	-0.09	-0.41
Ταχύτητα ανέμου	-0.38	-0.19	-0.53	-0.20
Υγρασία	0.26	-0.19	0.15	0.26
Βαρομετρική πίεση	-0.04	-0.11	0.03	0.3
Ηλιακή ακτινοβολία	-0.16	-0.04	-0.28	-0.29

Επίσης φάνηκε ότι οι τιμές των PM<sub>10</sub> στην 2<sup>η</sup> και 4<sup>η</sup> δειγματοληψία δεν σχετίζονταν με την ταχύτητα του ανέμου, η 1<sup>η</sup> παρουσίασε χαμηλή αρνητική συσχέτιση (-0.38) ενώ η 3<sup>η</sup> δειγματοληψία εμφάνισε χαμηλή αρνητική συσχέτιση (-0.20) που σημαίνει ότι η μάζα των PM<sub>10</sub> με την ταχύτητα του ανέμου ήταν αντίστροφος ανάλογος δηλαδή οι υψηλές τιμές της μιας μεταβλητής αντιστοιχούσαν στις χαμηλές τιμές της άλλης. Η 2<sup>η</sup> και η 3<sup>η</sup> δειγματοληψία δεν εμφάνισαν καμία συσχέτιση μεταξύ υγρασίας και αιωρούμενων σωματιδίων ενώ η 1<sup>η</sup> και 4<sup>η</sup> εμφάνισαν χαμηλή θετική συσχέτιση (0.26). Στην βαρομετρική πίεση υπήρχε μεγαλύτερη συσχέτιση στην 1<sup>η</sup> 3<sup>η</sup> και 4<sup>η</sup> δειγματοληψία όμως στην 1<sup>η</sup> συσχέτιση ήταν αρνητική δηλαδή όσο αυξανόταν η βαρομετρική πίεση μειώνονταν τα αιωρούμενα σωματίδια και το αντίθετο.

Το ίδιο συνέβη και στην 2<sup>η</sup> δειγματοληψία στην συσχέτιση αεροζόλ με ηλιακή ακτινοβολία, ενώ χαμηλή συσχέτιση εμφάνισε και η 3<sup>η</sup>, 4<sup>η</sup> -0.28 και -0.29 αντίστοιχα. Άρα συνολικά από τις συσχετίσεις που εξετάστηκαν μόνο αυτή μεταξύ ταχύτητας ανέμου και αιωρούμενων σωματιδίων παρουσίασε μέτρια αρνητική συσχέτιση ( $-0.53$ ).

Πίνακας 3.3: Συσχέτιση Pearson αιωρούμενων σωματιδίων με θερμοκρασία ταχύτητα ανέμου υγρασία βαρομετρική πίεση και ηλιακή ακτινοβολία για το Ακρωτήρι. Τα 1<sup>η</sup>, 2<sup>η</sup>, 3<sup>η</sup> και 4<sup>η</sup> αντιστοιχούν στις 1<sup>η</sup> δειγματοληψία, 2<sup>η</sup> δειγματοληψία 3<sup>η</sup> δειγματοληψία και 4<sup>η</sup> δειγματοληψία.

	1 <sup>η</sup>	2 <sup>η</sup>	3 <sup>η</sup>	4 <sup>η</sup>
Θερμοκρασία	-0.35	-0.13	0.43	-0.11
Ταχύτητα ανέμου	-0.38	-0.04	-0.14	0.03
Υγρασία	0.25	-0.27	0.05	0.05
Βαρομετρική πίεση	-0.13	-0.10	-0.26	-0.11
Ηλιακή ακτινοβολία	-0.03	-0.12	0.04	-0.09

Από τον Πίνακα 2 φάνηκε ότι η 2<sup>η</sup> και η 4<sup>η</sup> δειγματοληψία δεν συσχετίζονταν με την θερμοκρασία, η 1<sup>η</sup> δειγματοληψία εμφάνισε χαμηλή αρνητική συσχέτιση (-0.35) ενώ η 3<sup>η</sup> χαμηλή θετική συσχέτιση (0.43) δηλαδή σημαίνει ότι όσο ανέβαινε η θερμοκρασία αυξάνονταν και οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, καθώς δημιουργούνταν ιδανικές για την δημιουργία και κυκλοφορία των αεροζόλ συνθήκες λόγω υψηλών θερμοκρασιών και μείωσης της υγρασίας. Στην συσχέτιση των δειγματοληψιών με την ταχύτητα του ανέμου φάνηκε ότι μέτρια συσχέτιση είχαν η 2<sup>η</sup>, η 3<sup>η</sup> και η 4<sup>η</sup> δειγματοληψία ενώ χαμηλή αρνητική είχε η 1<sup>η</sup> δειγματοληψία (-0.38) δηλαδή όσο αυξάνονταν η ταχύτητα του ανέμου μειώνονταν τα αιωρούμενα σωματίδια και το αντίθετο. Καθώς γενικά ισχύει ότι όσο πιο δυνατόν είναι ο άνεμος τόσο πιο εύκολη είναι η διασπορά και απομάκρυνση των ρύπων της ατμόσφαιρας. Στην συσχέτιση της υγρασίας φάνηκε πως η 3<sup>η</sup> και 4<sup>η</sup> δειγματοληψία δεν είχαν συσχέτιση με την υγρασία ενώ η 1<sup>η</sup> και 2<sup>η</sup> εμφάνισαν χαμηλή θετική και χαμηλή αρνητική συσχέτιση αντίστοιχα. Επιπλέον η βαρομετρική πίεση φάνηκε πως έχει

χαμηλή συσχέτιση με τις συγκεντρώσεις των  $PM_{10}$  αρνητικά (-0.26) την 3<sup>η</sup>. Ενώ η ηλιακή ακτινοβολία δεν έχει καμία συσχέτιση με καμία από τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων.

Συγκρίνοντας του Πίνακες 3.2 και 3.3 παρατηρείται συνολικά ότι οι μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων ήταν ανεξάρτητες από οποιαδήποτε μεταβλητή. Οι συσχετίσεις ήταν κυρίως χαμηλές και αρνητικές, στον Πίνακα 3.2 το 75% των τιμών ήταν αρνητικές ενώ στον Πίνακα 3.3 το 70%. Η υψηλότερη αρνητική συσχέτιση παρουσιάστηκε στην Επισκοπή μεταξύ 3<sup>ης</sup> δειγματοληψίας και ταχύτητας ανέμου και ήταν -0.53, .Ενώ η από τις πιο υψηλές θετικές συσχέτισης ήταν εκείνη μεταξύ δειγματοληψιών 1 και 4 της Επισκοπής και 1<sup>ης</sup> δειγματοληψίας του Ακρωτηρίου με την υγρασία που σημαίνει ότι όταν αυξάνεται η υγρασία αυξάνονται τα  $PM_{10}$  .Αξίζει να σημειωθεί ότι η 2<sup>η</sup> δειγματοληψία ήταν η μοναδική από τις 4 που σε όλες τις παραμέτρους εμφανίζει αρνητικό πρόσημο. Αυτό πιθανώς οφείλεται στην σκόνη Σαχάρας που υπήρξε αρκετά έντονα εκείνη της χρονική περίοδο και επηρέασε συνολικά τις μετρήσεις αυξάνοντας της τιμές των  $PM_{10}$ .

## Αποτελέσματα-Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν να μελετηθεί πόσο και αν επηρεάστηκε η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων στην Επισκοπή Αγυιάς του νομού Χανίων από τις καύσεις γεωργικών υπολειμμάτων σε μια καθορισμένη χρονική περίοδο μετρήσεων. Στην περιοχή μελέτης τοποθετήθηκε ένα όργανο καταμέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{10}$  (DustTrakII) συνολικά για 36 ημέρες. Οι περιόδους δειγματοληψιών που πραγματοποιήθηκαν ήταν τέσσερις: η 1η δειγματοληψία με διάρκεια από 24.3.2022 έως 29.3.2022 είχε μεγαλύτερη τιμή συγκέντρωσης τα  $48.4 \mu g/m^3$  και μικρότερη τα  $12.5 \mu g/m^3$ , η 2η δειγματοληψία από 2.4.2022 έως 9.4.2022 είχε μέγιστη τιμή συγκέντρωσης τα  $61.6 \mu g/m^3$  και ελάχιστη  $7.7 \mu g/m^3$ , η 3<sup>η</sup> δειγματοληψία η οποία διήρκησε από 10.4.2022 έως 20.4.2022 είχε μεγαλύτερη τιμή συγκέντρωσης  $PM_{10}$  τα  $44.2 \mu g/m^3$  και μικρότερη τα  $7.7 \mu g/m^3$  και η 4<sup>η</sup> δειγματοληψία από 24.4.2022 έως 4.5.2022 είχε μεγαλύτερη τιμή συγκέντρωσης τα  $22.4 \mu g/m^3$  και μικρότερη τα  $7.3 \mu g/m^3$ . Για την καλύτερη κατανόηση των μετρήσεων της Επισκοπής έγινε η σύγκριση τους με τις μετρήσεις από όργανο καταγραφών, αναλυτή βήτα ακτινοβολίας (SHARP 5030i), που βρισκόταν τοποθετημένο στην περιοχή του Ακρωτήριου στο νομό Χανίων. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν την ίδια χρονική περίοδο και τα αποτελέσματα ήταν πως η πρώτη δειγματοληψία είχε μέγιστη και ελάχιστη τιμή  $86.7 \mu g/m^3$ ,  $15.2 \mu g/m^3$  η δεύτερη είχε  $533.6 \mu g/m^3$ ,  $5.7 \mu g/m^3$  η τρίτη είχε  $129.9 \mu g/m^3$ ,  $1.6 \mu g/m^3$  και η τέταρτη  $87.9 \mu g/m^3$  και  $4.2 \mu g/m^3$  αντίστοιχα.

Συνολικά ταυτοποιήθηκαν 16 περιπτώσεις καύσεων αγροτικών υπολειμμάτων στην Επισκοπή. Οι καύσεις διήρκησαν κατά μέσο όρο 1 ώρα και οι περισσότερες από αυτές έγιναν μεταξύ 6.30 - 9.00, ώρες δηλαδή που τα ποσοστά υγρασίας ήταν πολύ υψηλά ώστε να αποφεύγεται ο κίνδυνος πυρκαγιάς. Καύσεις έγιναν σε όλες τις δειγματοληψίες όμως οι περισσότερες σημειώθηκαν κατά την 3<sup>η</sup> περίοδο ενώ μόλις μία έγινε στην 2<sup>η</sup> περίοδο δειγματοληψιών. Μέγιστη τιμή αεροζόλ από καύσεις ήταν τα  $44.2 \mu g/m^3$  στις 16.4.2022 ενώ η μικρότερη ήταν τα  $15 \mu g/m^3$  στις 19.4.2022, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης αιωρούμενων σωματιδίων από καύση μετρήθηκε στην 3<sup>η</sup> περίοδο δειγματοληψιών στις 19.4.2022 με ποσοστό 277%. και το μικρότερο μετρήθηκε την 2<sup>η</sup> περίοδο δειγματοληψιών, 27.3.2022 και ήταν 13%.

Κατά την διάρκεια των μετρήσεων υπήρξε κύμα Αφρικανικής σκόνης στην περιοχή, που έκανε, όπως είναι φυσικό, τις μετρήσεις πιο υψηλές τις ημέρες που σημειώθηκε το

φαινόμενο. Μεγαλύτερη τιμή του φαινομένου για την Επισκοπή καταγράφηκε στο κύμα που σημειώθηκε από τις 2.4.2022 έως 3.4.2022 με  $61.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Το φαινόμενο δεν επηρέασε τις τιμές τις 1<sup>ης</sup> δειγματοληψίας καθώς τότε δεν είχε εμφανιστεί, σε αντίθεση με την 2<sup>η</sup> περίοδο μετρήσεων κατά την οποία υπήρξε μεγάλο κύμα.

Τα αποτελέσματα των δύο περιοχών έχουν διαφορετικό εύρος τιμών και αυτό εξηγείται καθώς γίνεται αναφορά σε δυο διαφορετικά γεωγραφικά σημεία του νομού Χανίων. Το Ακρωτήριο που είχε πιο μεγάλο εύρος βρίσκεται κοντά σε θάλασσα σε κεντρικό δρόμο της πόλης και πολύ κοντά σε αστική περιοχή, ενώ η Επισκοπή είναι περιαστική και κυρίως αγροτική περιοχή, μακριά από τη θάλασσα.

Σύμφωνα λοιπόν με όλα τα παραπάνω φαίνεται ότι οι καύσεις γεωργικών υπολειμμάτων που έγιναν στην Επισκοπή από τον Μάρτιο- Μάιο του 2022 δεν φέρουν σημαντική επίδραση στα αιωρούμενα σωματίδια,  $\text{PM}_{10}$ , της περιοχής. Παρόλο που οι καύσεις απελευθερώνουν σωματίδια και σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να είναι επικίνδυνες για την υγεία, με την συχνότητα και διάρκεια που πραγματοποιήθηκαν στην Επισκοπή και λαμβάνοντας υπόψιν το σημείο καταγραφής σωματιδίων, δεν φαίνεται να προκαλούν μεγάλη ανησυχία ώστε να θεωρηθεί η περιοχή επικίνδυνη για τον άνθρωπο.



## Βιβλιογραφία

### Ελληνική βιβλιογραφία

Ανδρίτσος Ν. (2008). Ενέργεια και περιβάλλον, Διδακτικές σημειώσεις. Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Ανδρούτσου Μ. (2004). Αιωρούμενα ατμοσφαιρικά σωματίδια, εξελικτική πορεία συγκέντρωσης στην ΕΕ&επιπτώσεις στην υγεία, Αθήνα.

Αρτοποιός Γ (2022). αρχείο EPT3, Αθήνα.

Βαρδάκα Γ. Ζέρη Ε. (2005). Διάβρωση υλικών από την όξινη βροχή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Γεντεκάκης Ι. (2010). Ατμοσφαιρική Ρύπανση επιπτώσεις, έλεγχος & εναλλακτικές τεχνολογίες, εκδόσεις Κλειδάριθμος, Χανιά.

Δ/ση κλιματικής αλλαγής & ποιότητας ατμόσφαιρας Υπουργείο περιβάλλοντος και ενέργειας γεν. δ/ση περιβαλλοντικής πολιτικής (2019). Τμήμα Ποιότητας της Ατμόσφαιρας, Ετήσια έκθεση ποιότητας της ατμόσφαιρας. σελίδες 48-49.

Δρ. Βιτωράκης Σ. (2020). Αφρικανική Σκόνη- Ένας συχνός και ανεπιθύμητος επισκέπτης !!, Χανιά.

European Environment Agency. Ατμοσφαιρική ρύπανση (2020) (<https://www.eea.europa.eu/el/themes/air/intro>).

Ζάνης Π. (2013). Εισαγωγή στην Αέρια Ρύπανση. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Καραχρήστου Π. (2014). Μελέτη επεισοδίων σκόνης από την έρημο Σαχάρα σε Μεσογειακές πόλεις με την χρήση δορυφορικών δεδομένων, Θεσσαλονίκη.

Μηλιώνης Χ. (2016). Ορισμοί-Ρυθμιστικά συστήματα. Διαδικτυακές σημειώσεις. (<https://docplayer.gr/34001757-Orismoι-rythmistika-systimata-haralampos-milionis-anaplirotis-kathigitis-pathologias-tmima-iatrikis-panepistimiou-ioanninon.html>).

Μουστρής Κ.Π. (2020). Οι βασικότεροι ρύποι-Στερεά Αιωρούμενα Σωματίδια. Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ, Διαδικτυακές σημειώσεις.

Miller G.Tyler (1999) Jr., Αρχές περιβαλλοντικών Επιστημών, Βιώνοντας το περιβάλλον Ι. εκδόσεις Ίνων.

Μπέλλου Ν. (2016). Το φαινόμενο της όξινης βροχής. Διπλωματική εργασία. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Λαζαρίδης Μ. (2010). Ατμοσφαιρική Ρύπανση με Στοιχεία Μετεωρολογίας. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδας, Αντιπυρική Περίοδος 2022 (2022) (<https://www.fireservice.gr/el/-/antipyrike-periodos-2022>).

Τριανταφυλλάκη Μ. (2023). Μελέτη της κατανομής μεγέθους των λεπτόκοκκων σωματιδίων στο σταθμό του Ακρωτηρίου: Επίδραση του αστικού περιβάλλοντος και εποχιακές διακυμάνσεις, Χανιά.

Τσάμης Χρήστος Ι. (2014). Ο κόσμος που ζούμε. Διαδικτυακό βιβλίο, Αθήνα.

Υπουργείο εργασίας, πρόνοιας και κοινωνικών ασφαλίσεων (2017). Ετήσια Τεχνική Έκθεση Ποιότητας Αέρα. Τμήμα επιθεώρησης εργασίας, Λευκωσία.

Radio lasithi.gr (2018). Συνεχίζεται η μεταφορά αφρικανικής σκόνης στην Κρήτη- Έρευνες για το φαινόμενο', Κρήτη <https://radiolasithi.gr/synechizetai-i-metafora-afrikanikis-skonis-stin-kriti-ereynes-gia-to-fainomeno/>.

Ρεμουντάκη Ε. (2010). Αέρας και ατμοσφαιρική ρύπανση. Οδηγός για το περιβάλλον. WWF Ελλάς, Αθήνα.

Σολδάτος Τ. (2022). Ηφαιστειολογία, διαδικτυακές σημειώσεις. Τμήμα Γεωλογίας. Σχολή Θετικών Επιστημών. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Σωφρονιάδης Σ. Δ. (2007). Μέτρηση τροποσφαιρικού όζοντος και αιωρούμενων σωματιδίων στην περιοχή Ακρωτηρίου των Χανίων, Χανιά.

Χαλκούκης Α (2012). Συστήματα επεξεργασίας σημάτων και επικοινωνιών. Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.

Χανιώτικα Νέα (2022). Τι πρέπει να γνωρίζουν όσοι προσχωρούν σε καύση υπολειμμάτων των κλαδεμάτων. (<https://www.haniotika-nea.gr/ti-prepei-na-gnorizogyn-osoι-prochorogyn-se-kaysi-ypoleimmaton-ton-kladematton/>).

Χατουσιδου Σ. Ε. (2010). Κατανομή Αιωρούμενων Σωματιδίων στην Ανατολική Μεσόγειο: Σχηματισμός Νέων Σωματιδίων και Δυναμικής τους, Χανιά.

Volton (2019). Τι είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου και από τι προκαλείται. διαδικτυακό άρθρο (<https://volton.gr/fainomeno-tou-thermokipiou/>).

### Ξένη βιβλιογραφία

Baron, P.A. and Willeke K. (2001). (eds) Aerosol Measurement – Principles, Techniques, and Applications 2nd edn, John Wiley & Sons, Inc., pages 50-53.

California Air Resources Board (2023). Inhalable Particulate Matter and Health (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>).

Calvo AI, Alves C, Castro A, Pont V, Vicente AM (2015) Fraile R Research on aerosol sources and chemical composition: Past, current and emerging issue.

C. Etcheverry (2015). Open agricultural burning, Climate clean air& coalition.

Dhec (2016). What is Particulate Matter?. (<https://scdhec.gov/environment/your-air/most-common-air-pollutants/particulate-matter/what-particulate-matter>).

Hinds W. C. (1999). Aerosol Technology, Properties, Behavior and Measurements of Airborn Particles, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc.

Environmental Defense Fund (2023). Health effects of air pollution, defe.

NSW Health (2020). Particulate matter (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>).

Ruzer L. S., Harley N. H. (2005) Aerosols Handbook, Measurements, Dosimetry and Health Effects, CRC Press.

Seinfeld J. H., Pandis S. N. (2006). Atmospheric Chemistry and Physics. Second Edition. John Wiley & Sons.

Xin Huang, Aijun Ding, Lixia Lu, Qiang Liu, KeDing, Qiang Liu, Ke Ding, XiaoruiNiu, Wei Nie, Zheng Xu, Xuguang Chi, Minghuai Wang, Jianning Sun, WeidongGuo and CongbinFu (2016) Effects of aerosol–radiation interaction on precipitation during biomass-burning season in East China, China. pages 1-3.