



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ Τ.Ε.΄**

---



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

*"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων  
Σωματιδίων  $PM_{10}$  στην πόλη των Χανίων"*

**Καραβά Στυλιανή**

*Επιβλέπων καθηγητής*  
**Δρ. Κοπανάκης Ηλίας**

**ΧΑΝΙΑ 2023**

*"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων  $PM_{10}$  στην πόλη των Χανίων"*

*Καραβά Στυλιανή*

*Αφιέρωση*

*Σε αυτούς που υπήρξαν ανεκτίμητο στήριγμα,  
σε όλη τη διαδρομή των σπουδών μου!*

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Δρ. Κοπανάκη Ηλία, για την απέραντη βοήθεια και καθοδήγησή του, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, αναθέτοντάς μου την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας και την αξιολόγηση των μετρήσεων που είχε διενεργήσει, καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές και υποδείξεις του, αλλά και για την μεγάλη στήριξη που μου έδειξε κατά τη διάρκεια αυτής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ελευθερία Κατσίβελα, καθώς και την MSc Λουΐζα Ραΐση, για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας και τις πολύτιμες υποδείξεις στις διορθώσεις της εργασίας μου.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Μιχάλη Λαζαρίδη, υπεύθυνο του Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων της Σχολής Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης στα Χανιά της Κρήτης, για την ευγενική παραχώρηση των δεδομένων των μετρήσεων των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> από την πόλη των Χανίων κατά τα έτη 2015-2016.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω, όλους τους ακαδημαϊκούς καθηγητές μου, ανεξαιρέτως, καθώς με βοήθησαν και με καθοδήγησαν με τις γνώσεις τους, να ολοκληρώσω το ταξίδι αυτό, να αγαπήσω τον τομέα και τον κλάδο του περιβάλλοντος και τέλος, μου έδωσαν αφορμές και αιτίες για να συνεχίσω να εξελίσσομαι.

Πάνω απ' όλα όμως, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς, τα άτομα του οικογενειακού και φιλικού μου περιβάλλοντος, για την υποστήριξή τους, κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

## **ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

1. Εισηγητής: Δρ. Ηλίας Κοπανάκης (Επιβλέπων καθηγητής)
2. Μέλος: Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ελευθερία Κατσίβελα
3. Μέλος: MSc Λουΐζα Ραΐση

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας ήταν η ανάλυση και αξιολόγηση της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> σε δύο σταθμούς μέτρησης στην πόλη των Χανίων. Εξετάστηκαν οι χρονικές περιόδους και η προέλευση των αερίων μαζών, που παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις των σωματιδιακών ρύπων στην πόλη των Χανίων καθώς και σε τι οφείλονταν αυτές οι αλλαγές. Για την εκτίμηση της διακύμανσης της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> αναλύθηκαν τα δεδομένα των μετρήσεων που είχαν πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια των ετών 2015 και 2016. Οι μετρήσεις αυτές είχαν διενεργηθεί στις περιοχές των Κουνουπιδιανών και της Χαλέπας Χανίων. Οι δειγματοληψίες ήταν καθημερινές και είχαν εικοσιτετράωρη διάρκεια. Οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις και των δύο περιοχών των Χανίων ήταν χαμηλότερες του ημερήσιου επιτρεπτού ορίου των 50 μg/m<sup>3</sup>, παρόλο που η τυπική απόκλιση των τιμών έδειξε αρκετές υπερβάσεις, οι οποίες οφείλονταν στην αερομεταφερόμενη σκόνη της ερήμου, όπως δείχθηκε από τις οπισθοπορίες των αερίων μαζών. Με τη βοήθεια του μοντέλου Hysplit ανακτήθηκαν οι οπισθοπορίες, που ακολούθησαν οι αέριες μάζες τις ημέρες των μετρήσεων. Στις περιπτώσεις που καταγράφηκαν ασυνήθιστα αυξημένες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub>, παρατηρήθηκε πώς οι αέριες μάζες διήλθαν επάνω από την Αφρική. Αντίθετα στις περιπτώσεις που οι αέριες μάζες είχαν προέλθει είτε από τον Βόρειο Πόλο ή γενικότερα από Βόρειες χώρες ή τον Ατλαντικό Ωκεανό (καταβόθρα ρύπων) κατά τους χειμερινούς μήνες, οι συγκεντρώσεις των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν ιδιαίτερα χαμηλές.

**Λέξεις-κλειδιά:** Ατμοσφαιρική ρύπανση, Αιωρούμενα σωματίδια PM<sub>10</sub>, Οπισθοπορίες αερίων μαζών, Χανιά

**ABSTRACT**

The purpose of the thesis was the analysis and evaluation of the concentration of atmospheric suspended particles PM<sub>10</sub> in two measurement stations in the city of Chania (Crete, Greece). The periods of time and the origin of the air masses, where the highest concentrations of particulate pollutants were observed in the city of Chania, were examined, as well as what caused these changes. In order to estimate the variation of the concentration of atmospheric suspended particles PM<sub>10</sub> in the city of Chania, the data of the measurements carried out during the years 2015 and 2016 were analyzed. These measurements were carried out daily in the areas of Kounoupidiana and of Chalepa at Chania, whereas their sampling time was twenty-four hours. The average daily concentrations of PM<sub>10</sub> in both areas of Chania were below the daily permissible limit of 50 µg/m<sup>3</sup>, although the standard deviation of the values showed several exceedances, which were due to airborne desert dust events, as shown by the back trajectories of the air masses. With the help of the Hysplit model, the back trajectories of the air masses on the days of the measurements were retrieved. In cases where unusually high concentrations of PM<sub>10</sub> were recorded, it was observed that the air masses passed over Africa. On the contrary, in the cases where the origin of the air masses was either from the North Pole or more generally from Northern countries or the Atlantic Ocean (pollution sink) during the winter months, the concentrations of the PM<sub>10</sub> particles were notably low.

**Keywords:** Atmospheric pollution, particulate matter PM<sub>10</sub>, back trajectories of air masses, Chania

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ**

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>5</b>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ</b>	<b>6</b>
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b>	<b>10</b>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ</b>	<b>11</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>	<b>12</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>12</b>
1.1. ΟΡΙΣΜΟΙ	12
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	<b>17</b>
<b>ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ</b>	<b>17</b>
2.1. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ	17
2.1.1. Κατηγορίες Αιωρούμενων Σωματιδίων	17
2.1.2. Εισπνεύσιμα Αιωρούμενα Σωματίδια (Particulate Matter, PM)	17
2.1.3. Ολικά αιωρούμενα στερεά (Total Suspended solids - TSS)	18
2.2. ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	18
2.3. ΣΥΣΤΑΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	19
2.4. ΠΗΓΕΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ	19
2.5. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ	21
2.6. ΑΕΡΙΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ	23
2.6.1. Επιπτώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων	26
2.7. ΑΕΡΙΕΣ ΜΑΖΕΣ	30
2.7.1. Αέριες Μάζες	30
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b>	<b>32</b>
<b>ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ</b>	<b>32</b>
3.1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗ ΥΠΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	32
3.2. ΑΝΑΓΛΥΦΟ, ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ, ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΑΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	34
3.3. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	38
3.4. ΤΡΟΧΟΦΟΡΑ ΧΑΝΙΩΝ (2015-2016)	39
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b>	<b>41</b>
<b>ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ</b>	<b>41</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b>	<b>45</b>
<b>ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b>	<b>45</b>
5.2. ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ	46
5.2.1. Δειγματολήπτης Andersen Impactor	46
5.2.2. Δειγματολήπτης σταθμικού προσδιορισμού της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης PM <sub>10</sub> (Sequential sampler)	49
5.2.3. Όργανο συνεχούς καταγραφής της συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων (Eberline FH 62 I-R)	51
5.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ	53
5.3.1 Μοντέλο HYSPLIT	53
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b>	<b>56</b>
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<b>56</b>
6.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ	56

*"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων  $PM_{10}$  στην πόλη των Χανίων"*

*Καραβά Στυλιανή*

6.1.1 Μετρήσεις συγκεντρώσεων $PM_{10}$ , ύψους βροχής και θερμοκρασίας	56
6.2 ΧΑΡΤΕΣ ΟΠΙΣΘΟΠΟΡΙΩΝ	69
6.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ $PM_{10}$	78
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7</b>	<b>81</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>81</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>85</b>

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1: ΟΡΑΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	31
ΕΙΚΟΝΑ 2: ΔΟΥΦΟΡΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΚΡΗΤΗΣ	33
ΕΙΚΟΝΑ 3: ΔΟΥΦΟΡΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΠΟΥ ΛΗΦΘΗΚΑΝ ΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	34
ΕΙΚΟΝΑ 4: ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ, ΝΟΜΟΣ ΧΑΝΙΩΝ, ΦΥΛΛΟ ΧΑΡΤΗ ΑΔ-04, ΣΕΛ 85 ΑΠΟ 577	36
ΕΙΚΟΝΑ 5: ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΧΑΡΤΗ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ - CORINE LAND COVER, 2018	37
ΕΙΚΟΝΑ 6: ΧΑΡΤΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ( ΣΤΑΘΜΟΙ ΝΟ. 68, 69, 70: ΔΕΗ Α.Ε., ΝΕΡΟΚΟΥΡΟΥ, ΧΑΝΙΑ, ΝΟ. 143: ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ, ΚΟΥΝΟΥΠΙΔΙΑΝΑ, ΧΑΝΙΑ)	43
ΕΙΚΟΝΑ 7: ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΗΣ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ANDERSEN 8 - STAGES	47
ΕΙΚΟΝΑ 8: ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΗ SEQUENTIAL SAMPLER ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΜΕ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ	50
ΕΙΚΟΝΑ 9: ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ EBERLINE FH 62 I-R	52
ΕΙΚΟΝΑ 10: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ $PM_{10}$ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ (RAIN) ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΤΩΝ ΧΕΙΜΕΡΙΝΩΝ ΜΗΝΩΝ	63
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ $PM_{10}$ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ (RAIN) ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΤΩΝ ΑΝΟΙΞΙΑΤΙΚΩΝ ΜΗΝΩΝ	64
ΕΙΚΟΝΑ 12: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ $PM_{10}$ ΤΗΝ ΑΝΟΙΞΗ ΤΟΥ 2016 ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΧΑΛΕΠΑΣ (ΕΛΜΕΠΑ) ΚΑΙ ΚΟΥΝΟΥΠΙΔΙΑΝΩΝ (ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ). Α) ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ Υ-ΑΞΟΝΑ 0 - 600 $MG/M^3$ , Β) ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ Υ-ΑΞΟΝΑ 0 - 100 $MG/M^3$	68
ΕΙΚΟΝΑ 13: ΟΠΙΣΘΟΠΟΡΙΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ [15-20/12/15 ΚΑΙ 21-26/12/15 ΕΠΑΝΩ, 27/12/15-01/01/16 ΚΑΙ 02-07/01/16 ΚΑΤΩ]	72
ΕΙΚΟΝΑ 14: ΟΠΙΣΘΟΠΟΡΙΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ [08-13/01/16 ΚΑΙ 14-19/01/16 ΕΠΑΝΩ, 20- 25/01/16 ΚΑΙ 26-31/01/16 ΚΑΤΩ]	73
ΕΙΚΟΝΑ 15: ΟΠΙΣΘΟΠΟΡΙΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ [01- 06/02/16 ΚΑΙ 07-12/02/16 ΕΠΑΝΩ, 13-18/02/16 ΚΑΙ 19-24/02/16 ΚΑΤΩ]	74
ΕΙΚΟΝΑ 16: ΟΠΙΣΘΟΠΟΡΙΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ [25/02-01/03/16 ΚΑΙ 02-07/03/16 ΕΠΑΝΩ, 08-13/03/16 ΕΩΣ 14-19/03/16 ΚΑΤΩ]	75
ΕΙΚΟΝΑ 17: ΟΠΙΣΘΟΠΟΡΙΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ [20-25/03/16 ΚΑΙ 26-31/03/16 ΕΠΑΝΩ, 01-06/04/16 ΚΑΙ 07-14/04/16 ΚΑΤΩ]	76



## **ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ**

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΤΡΟΧΟΦΟΡΑ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΤΑ ΧΑΝΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΕΤΗ 2015 ΚΑΙ 2016	39
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΣΤΑΔΙΩΝ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΗ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗΣ ANDERSEN	48
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ, ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΣΤΑΘΜΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΟ ΕΛΜΕΠΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΧΑΛΕΠΑ ΧΑΝΙΩΝ	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ, ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΣΤΑΘΜΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΟΥΝΟΥΠΙΔΙΑΝΑ ΧΑΝΙΩΝ	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΟΠΙΣΘΟΠΟΡΙΩΝ ΤΩΝ ΑΕΡΟΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM <sub>10</sub> ΑΝΑ 144 ΩΡΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ READY HYSPLIT	70
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΥΛΗΣ PM <sub>10</sub> ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΟΛΕΙΣ	78

**ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η ανάλυση και αξιολόγηση της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> σε δύο σταθμούς μέτρησης στην πόλη των Χανίων. Στα πλαίσια της εργασίας διερευνήθηκαν οι χρονικές περίοδοι και τα σημεία, όπου παρατηρούνται οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εισπνεύσιμων σωματιδίων PM<sub>10</sub> στην πόλη των Χανίων καθώς και σε τι οφείλονται αυτές οι αλλαγές.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Τεχνολογιών και Εφαρμογών του Τμήματος Ηλεκτρονικών Μηχανικών, επισπεύδον Τμήμα του πρώην Τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Τ.Ε., της Σχολής Μηχανικών του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου (ΕΛΜΕΠΑ) στην περιοχή Χαλέπα Χανίων, και στο Εργαστήριο Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων της Σχολής Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, το οποίο βρίσκεται στην περιοχή Κουνουπιδιανά Χανίων.

Αρχικά, στο Κεφάλαιο 1, γίνεται μια εισαγωγή στο θέμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και παρουσιάζονται ο στόχος και ο σκοπός της εργασίας. Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τα αερομεταφερόμενα αιωρούμενα σωματίδια και αναλύονται οι πηγές εκπομπής, τα αίτια και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται δεδομένα της περιοχής μελέτης, και αναλύονται τα στοιχεία της περιοχής. Επιπροσθέτως, στο Κεφάλαιο 4 αναφέρονται στοιχεία για την υφιστάμενη κατάσταση στην περιοχή μελέτης και κυρίως όσον αφορά στα ατμοσφαιρικά δεδομένα της περιοχής. Στο Κεφάλαιο 5 περιγράφεται το πειραματικό μέρος καθώς και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν, τα οποία επεξηγούνται πλήρως ως προς τη χρήση τους. Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων με πίνακες και χάρτες οπισθοποριών, οι οποίοι αναλύονται μαζί με τα συμπεράσματά τους στο Κεφάλαιο 7, στο οποίο συγκρίνονται τα δεδομένα. Επιπροσθέτως στο Κεφάλαιο 7 παρατίθενται οι όποιες συγκρίσεις και αποτελέσματα έχουν παρουσιαστεί από τη συνολική εργασία.

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ**

Αγγλικές Συντομογραφίες

CH<sub>4</sub>: methane, μεθάνιο

CO: carbon monoxide, μονοξείδιο του άνθρακα

CO<sub>2</sub>: carbon dioxide, διοξείδιο του άνθρακα

GIS (Σ.Γ.Π.): Geographic Information System, Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών

CLC: Corine Land Cover, (Χρήσεις Κάλυψης Γης)

H<sub>2</sub>S: hydrogen sulfide, υδρόθειο

HYSPLIT: Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model

IARC: International Agency for Research on Cancer, (Διεθνής Οργανισμός για την Έρευνα στον Καρκίνο)

NH<sub>3</sub>: ammonia, αμμωνία

NO: nitrogen monoxide, μονοξειδίου του αζώτου

NO<sub>x</sub> : nitrogen oxide, οξείδια του αζώτου

NO<sub>2</sub>: nitrogen dioxide, διοξειδίου του αζώτου

O<sub>3</sub>: ozone, όζον

PM: Particulate matter, Σωματιδιακή Ύλη

SO<sub>2</sub>: sulfur dioxide, διοξείδιο του θείου

TSS: Total Suspended solids, Ολικά Αιωρούμενα Στερεά

VOCs: Volatile Organic Compounds, πτητικές οργανικές ενώσεις

W.H.O. (Π.Ο.Υ.): World Health Organization, (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας)

Ελληνικές Συντομογραφίες

ΕΔΠΑΡ: Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Ε.Ε.: Ευρωπαϊκή Ένωση

ΕΛΜΕΠΑ: Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

ΕΛΣΤΑΤ: Ελληνική Στατιστική Αρχή

ΕΣΠΑ: Εταιρικό Σύμφωνο Περιφερειακής Ανάπτυξης

ΙΓΜΕ: Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών

ΥΠΕΝ: Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας

ΥΠΕΧΩΔΕ: Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

#### **1.1. ΟΡΙΣΜΟΙ**

##### **Ατμόσφαιρα**

Η ατμόσφαιρα μπορεί να παρομοιαστεί με έναν υπερμεγέθη χημικό αντιδραστήρα, στον οποίο έχουμε συνεχή είσοδο και απομάκρυνση αναρίθμητων χημικών ειδών κατά μια αχανή, χωρική και χρονική κατανομή, η οποία συνεχώς μεταβάλλεται λόγω αλληλεπιδράσεων και μετακίνησης αυτών των ουσιών (Γεντεκάκης, Ι., 2010, σελ. 76).

##### **Ρύπος**

Ρύποι θεωρούνται οτιδήποτε υλικά είναι δυνατό να εισέλθουν στην ατμόσφαιρα, είτε ανθρωπογενώς είτε διαμέσου κάποιας φυσικής διαδικασίας, τα οποία έχουν έστω και έμμεσα αποτελέσματα, όπως για παράδειγμα μείωση του οξυγόνου της ατμόσφαιρας ή κάποια άλλη αλλαγή της σύστασης του αέρα (Γεντεκάκης, Ι., 2010, σελ. 26).

##### **Ορισμός Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization - W.H.O.)**

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η ύπαρξη στην ατμόσφαιρα ουσιών για τέτοιο χρονικό διάστημα και σε τέτοια συγκέντρωση, ώστε να προκαλούνται δυσμενείς επιπτώσεις στους ζωντανούς οργανισμούς (άνθρωπο, ζώα, φυτά) και τις υλικές κατασκευές (Ζαφειρόπουλος, Κ., 2022).

##### **Αέρια Μάζα**

Αέρια Μάζα ονομάζεται ο όγκος του ατμοσφαιρικού αέρα, ο οποίος καλύπτει μεγάλες γεωγραφικές εκτάσεις, και έχει ίδια θερμοκρασία και ποσότητα υδρατμών. Όταν σε μια

περιοχή η θερμοκρασία είναι χαμηλή, τότε η πίεση του ατμοσφαιρικού αέρα είναι μικρή και αυτό έχει ως αποτέλεσμα, γειτονικές αέριες μάζες, μεγαλύτερης θερμοκρασίας και πίεσης, να καλύπτουν τη διαφορά αυτή (NOESIS, 2022; ECO-WEATHER, 2016).

### **Ατμοσφαιρικά Αερολύματα (Aerosol)**

Τα μόρια της ύλης, τα οποία περιλαμβάνουν μικρά σωματίδια σε στερεή ή υγρή μορφή με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 100 μm, και απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα λόγω φυσικών και ανθρωπογενών δράσεων ονομάζονται ατμοσφαιρικά αιωρήματα ή αερολύματα (aerosols). Οι συγκεντρώσεις τους ποικίλουν αναλόγως τα μεγέθη και τις μεταβολές τους, τόσο τοπικά όσο και χρονικά. Τα ατμοσφαιρικά αιωρήματα διακρίνονται σε πρωτογενή και δευτερογενή. Είτε εκπέμπονται απευθείας, είτε μορφοποιούνται κατά την επαφή τους με την ατμόσφαιρα και ερχόμενα σε επαφή με τα ήδη υπάρχοντα αιωρήματα (Meteoclub, 2016).

### **Σωματιδιακοί ρύποι της ατμόσφαιρας - Αιωρούμενα Σωματίδια (Particulate Matter, PM)**

Μία σημαντική κατηγορία ρύπων της ατμόσφαιρας είναι οι αερομεταφερόμενοι σωματιδιακοί ρύποι και τα αερολύματα. Εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα σε σημαντικές ποσότητες είτε ως σχετικά απλά είτε ως σύνθετα μόρια, όσον αφορά τη χημική τους σύσταση. Η ατμόσφαιρα δέχεται σωματιδιακούς ρύπους τόσο από φυσικές πηγές εκπομπής (π.χ. αερομεταφερόμενη σκόνη ερήμου), όσο και από ανθρωπογενείς πηγές (π.χ. βιομηχανίες, εξορύξεις ορυκτών, καύσεις ορυκτών καυσίμων). Τα αιωρούμενα σωματίδια χαρακτηρίζονται ως πρωτογενείς ρύποι, όταν εκπέμπονται κατευθείαν από την πηγή. Παρόλα αυτά, τα ατμοσφαιρικά σωματίδια δεν αποτελούν μόνο πρωτογενείς ρύπους, αλλά και δευτερογενείς, οι οποίοι δημιουργούνται από χημικές αντιδράσεις μεταξύ διαφόρων ρύπων αλλά και με μόρια της ατμόσφαιρας. Οι σωματιδιακοί ρύποι συμμετέχουν στο φαινόμενο της καπνομίχλης, του θερμοκηπίου, και στην μειωμένη ορατότητα από αερολύματα. Οι σωματιδιακοί ρύποι δημιουργούν προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία, στην πανίδα και στην χλωρίδα, στην μετεωρολογία και στο κλίμα (Γεντεκάκης, I., 2010, σελ. 97).

Η φυσική κατάσταση ενός σωματιδιακού ρύπου μπορεί να παρατηρηθεί σε υγρή και σε στερεή μορφή.

Η αερομεταφερόμενη σωματιδιακή ύλη είναι ένα σύνθετο μείγμα, το οποίο μπορεί να αποτελείται από μικρά σταγονίδια σε υγρή και σωματίδια σε στερεή μορφή, είναι μικρού μεγέθους στερεά ή υγρά αιωρήματα που βρίσκονται διασκορπισμένα στην ατμόσφαιρα. Τα αιωρούμενα σωματίδια ποικίλλουν σε μέγεθος και στην χημική τους σύνθεση. Συνήθως είναι βλαβερά για το αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου και γενικότερα των ζώντων οργανισμών. Η πιο συνηθισμένη μορφή σωματιδιακής ύλης στην ατμόσφαιρα είναι ανόργανη και μη τοξική από χημικής άποψης σκόνη, που παρόλα αυτά μπορεί να είναι βλαβερή λόγω μεγέθους ή και συγκέντρωσης για τον ανθρώπινο οργανισμό. Εισέρχονται μέσω του αναπνευστικού σωλήνα και επικάθονται στους πνεύμονες προκαλώντας σταδιακή συσσώρευση (Γεντεκάκης, Ι., 2010, σελ. 35, 156; Ζαφειρόπουλος, Κ., 2022).

Η αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη στην ατμόσφαιρα παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία στην κατανομή μεγέθους των σωματιδίων, το σχήμα τους, τη χημική τους σύσταση, το ειδικό τους βάρος, την πυκνότητα, την ευθραυστότητα, την ηλεκτρική αγωγιμότητα, τη συνοχή τους, το πόσο υγροσκοπικά και κολλώδη είναι κ.ά. (Γεντεκάκης, Ι., 2010, σελ. 510).

Στην Ελλάδα, η καύση ξύλου βιομάζας, όπου παρατηρείται ως έντονο φαινόμενο τα τελευταία χρόνια για οικιακή θέρμανση, όπως χρήση τζακιών αλλά και καυστήρων, οδηγεί σε σημαντικά αυξημένες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, σε αστικές και υπαίθριες περιοχές κατά τους χειμερινούς μήνες. Να σημειωθεί, πως οι τιμές τους παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές από περιοχή σε περιοχή και εξαρτώνται από την ώρα της ημέρας αλλά και από τις μετεωρολογικές συνθήκες των περιοχών (Ζαφειρόπουλος, Κ., 2022).

## **1.2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Οι κύριες ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης της ατμόσφαιρας με αιωρούμενα σωματίδια προέρχονται από την κίνηση των οχημάτων, τη διάθεση και επεξεργασία των αστικών απορριμμάτων, τις κεντρικές θερμάνσεις, τις οικοδομικές εργασίες και κατασκευές, όπως προαναφέραμε, και τέλος από τις βιομηχανικές χρήσεις.

Επιπλέον οι φυσικές πηγές σωματιδιακής ρύπανσης της ατμόσφαιρας προέρχονται από την επαναιώρηση της σκόνης, τα θαλάσσια αερολύματα, τη μεταφορά σωματιδίων σε μεγάλες αποστάσεις όπως είναι η αφρικανική σκόνη, από την ηφαιστειακή δραστηριότητα και από φυσικές πυρκαγιές.

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Π.Ο.Υ.), οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, λόγω των αιωρούμενων σωματιδίων, είναι επιστημονικά τεκμηριωμένη και αποδεδειγμένη. Ο τρόπος με τον οποίο εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό, είναι κατά τη βαθιά διείσδυση των αιωρούμενων σωματιδίων στους πνεύμονες. Με τον τρόπο αυτό εισέρχονται στην κυκλοφορία του αίματος και προκαλούν καρδιαγγειακά και αναπνευστικά νοσήματα. Αξίζει να αναφερθεί, βάση μελετών του Διεθνούς Οργανισμού για την Έρευνα στον Καρκίνο (International Agency for Research on Cancer - IARC) του Π.Ο.Υ., το έτος 2013, ότι τα αιωρούμενα σωματίδια συμπεριλαμβάνονται στα αίτια που προκαλούν καρκίνο (Ζαφειρόπουλος, Κ., 2022).

Επίσης όπως προαναφέρθηκε, τα αιωρούμενα σωματίδια προκαλούν αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία λόγω της ρύπανσης του ατμοσφαιρικού αέρα. Συγκεκριμένα, τα παιδιά και οι ενήλικες, με μακροπρόθεσμη αλλά και βραχυπρόθεσμη έκθεση σε ατμοσφαιρική ρύπανση, κινδυνεύουν να αποκτήσουν σε προβλήματα υγείας, όπως π.χ. μειωμένη πνευμονική λειτουργία, αναπνευστικές λοιμώξεις και επιδεινούμενο άσθμα. Σημειώνεται, πως μπορεί να προκληθούν προβλήματα κατά την κύηση ή την γέννα, ακόμα και στις μητέρες, εάν έχουν αρκετή έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Τέτοια προβλήματα είναι η πρόωρη γέννηση, η σύντομη κύηση αλλά και το χαμηλό βάρος των νεογνών. Παρατηρείται ακόμα, πως λόγω της έκθεσης σε αέρα ρυπασμένης ατμόσφαιρας, μπορεί να επηρεαστεί η νευρολογική ανάπτυξη των βρεφών και να προκληθεί διαβήτης στα παιδιά (Ζαφειρόπουλος, Κ., 2022).

Συμπερασματικά θεωρείται, ότι τα αιωρούμενα σωματίδια και γενικότερα ο ρυπασμένος αέρας, εφόσον εισχωρήσουν στον ανθρώπινο οργανισμό, μπορούν να δημιουργήσουν σημαντικά προβλήματα υγείας στον πληθυσμό, καθώς επίσης και σταδιακή αύξηση του αριθμού των ασθενών και των θανάτων.

*"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων PM<sub>10</sub> στην πόλη των Χανίων"*

*Καραβά Στυλιανή*

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η ανάλυση και αξιολόγηση της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών σωματιδιακών ρύπων (κλάσμα εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub>) σε δύο περιοχές της πόλης των Χανίων. Στα πλαίσια της εργασίας διερευνήθηκαν οι χρονικές περίοδοι και τα σημεία, όπου παρατηρούνται οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις των εισπνεύσιμων σωματιδίων PM<sub>10</sub> στην πόλη των Χανίων καθώς και σε τι οφείλονται αυτές οι αλλαγές με βάση την ανάλυση των οπισθοποριών των αερίων μαζών.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

#### **2.1. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ**

##### ***2.1.1. Κατηγορίες Αιωρούμενων Σωματιδίων***

Τα ατμοσφαιρικά αιωρήματα (αερολύματα), όπως αναφέρθηκε παραπάνω και στον ορισμό τους, είναι μόρια ύλης, που περιλαμβάνουν μικρά σωματίδια υγρής και στερεής μορφής με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 100  $\mu\text{m}$  και απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Οι πηγές από τις οποίες προέρχονται, είναι φυσικές και ανθρωπογενείς και οι συγκεντρώσεις τους παρουσιάζονται κοντά στην επιφάνεια της Γης και ποικίλουν. Σωματίδια, όπως σκόνη, καπνός και σωματίδια αιθάλης, είναι ορατά στο ανθρώπινο μάτι, ενώ κάποια άλλα είναι αόρατα. Τα σωματίδια διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες ανάλογα με τη διάμετρό τους. Με διάμετρο μικρότερη της κλίμακας των 0,1  $\mu\text{m}$ , τα σωματίδια ανήκουν στην κατηγορία που ονομάζεται «Πυρήνες Aitken», με διάμετρο που κυμαίνεται μεταξύ της κλίμακας 0,1  $\mu\text{m}$  και 1,0  $\mu\text{m}$ , τα σωματίδια ονομάζονται «Λεπτά Σωματίδια» και τέλος με διάμετρο μεγαλύτερη της κλίμακας 1,0  $\mu\text{m}$ , τα σωματίδια ονομάζονται «Χοντρόκοκκα Σωματίδια». Γενικότερα τα μικρότερα σωματίδια που διεισδύουν βαθύτερα στο αναπνευστικό σύστημα, προκαλούν τη μέγιστη βλάβη σε αυτό (Γεντεκάκης, Ι., 2010).

##### ***2.1.2. Εισπνεύσιμα Αιωρούμενα Σωματίδια (Particulate Matter, PM)***

Τα εισπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, οι οποίες αναφέρονται παρακάτω αναλυτικά. Τα αερολύματα με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 2,5  $\mu\text{m}$  είναι τα αναπνεύσιμα  $PM_{2,5}$  σωματίδια. Τα αερολύματα με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 10  $\mu\text{m}$  είναι τα εισπνεύσιμα  $PM_{10}$  σωματίδια. Αυτές οι δύο κατηγορίες θεωρούνται, ως τα πλέον επικίνδυνα για τον άνθρωπο, λόγω της βαθύτερης διείσδυσης και εναπόθεσης στο ανθρώπινο σώμα (Ζαφειρόπουλος, Κ., 2022).

### 2.1.3. Ολικά αιωρούμενα στερεά (Total Suspended solids - TSS)

Ως ολικά αιωρούμενα σωματίδια ονομάζεται η ξηρή μάζα των σωματιδίων, η οποία παγιδεύεται από ένα φίλτρο. Χρησιμοποιείται ως παράμετρος για τον έλεγχο της ποιότητας του αέρα και του νερού (Βικιπαίδεια, ολικά αιωρούμενα στερεά, 2019).

## 2.2. ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Όπως προαναφέρθηκε, τα αερομεταφερόμενα αιωρούμενα σωματίδια επιδρούν στην ανθρώπινη υγεία, στα οικοσυστήματα, αλλά και στη βίοςφαιρα γενικότερα, όπως αναφέρονται παρακάτω (Meteoclub, 2016):

Όσον αφορά στην ανθρώπινη υγεία

- Τα σωματίδια διεισδύουν στους πνεύμονες, παραμένουν μόνιμα τις περισσότερες φορές και προκαλούν χρόνια αναπνευστικά προβλήματα στον άνθρωπο.
- Τα υδατοδιαλυτά τμήματα των σωματιδίων διαλύονται στο υγρό των πνευμόνων και εισέρχονται στην κυκλοφορία του αίματος με πιθανές επιπτώσεις στην υγεία ανάλογες της τοξικότητάς τους

Όσον αφορά στα οικοσυστήματα και στη βίοςφαιρα

- Τα σωματίδια όπως η σκόνη, εναποτίθεται στις επιφάνεια των πράσινων βλαστών και έτσι παρεμποδίζεται η απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ) και του οξυγόνου ( $O_2$ ) από τα φυτά.
- Τα αερομεταφερόμενα σωματίδια προκαλούν επίσης σημαντικά προβλήματα στην αναπνοή των ζώων.

Στην ενότητα 2.6.1 στη συνέχεια αναφέρονται επίσης πληροφορίες σχετικά με τις επιπτώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων (συμπεριλαμβανομένων των αιωρούμενων σωματιδίων) στην υγεία και στο φυσικό περιβάλλον.

### **2.3. ΣΥΣΤΑΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ**

Με βάση τη σύσταση των αερομεταφερόμενων αιωρούμενων σωματιδίων μπορούν να διακριθούν στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες, οι οποίες αναφέρονται παρακάτω (Meteoclub, 2016):

#### **Κονιορτοί**

- Αιωρήματα εδαφικής προέλευσης λόγω σκόνης και μικροσκοπικών κόκκων προερχόμενων από περιοχές με έρημο, των οποίων τα σωματίδια μεταφέρονται στην ατμόσφαιρα από την επίδραση του ανέμου.
- Στάχτη και αιθάλη λόγω εκρήξεων ηφαιστειών, πυρκαγιών, βιομηχανικών και οικιακών καύσεων.
- Μόρια χλωριούχου νατρίου (NaCl) λόγω εξάτμισης υδροσταγονιδίων από θάλασσες, ωκεανούς και αφρισμένα κύματα, τα οποία αιωρούνται στην ατμόσφαιρα και μεταφέρονται από την επίδραση των ανέμων.

#### **Χημικές Ενώσεις**

- Ενώσεις που προέρχονται από φυσικές διεργασίες, από βιομηχανικές διεργασίες και καύσεις.

#### **Οργανικά Αιωρήματα**

- Γύρη από φυτά και γενικότερα βακτήρια και μικροοργανισμοί, οι οποίοι μεταφέρονται στην ατμόσφαιρα.

### **2.4. ΠΗΓΕΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ**

Οι εκπομπές των ατμοσφαιρικών ρύπων (αερίων και σωματιδιακών) προέρχονται από ανθρωπογενείς και φυσικές πηγές. Οι ανθρωπογενείς πηγές παρόλο που οδηγούν σε ατμοσφαιρικά επεισόδια, δηλαδή σε υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων, παράγουν παγκόσμια μικρότερο ποσοστό εκπεμπόμενων αερίων σε σχέση με τις φυσικές πηγές. Συγκριτικά οι φυσικές πηγές εκπομπής οδηγούν επίσης σε μερικές περιπτώσεις σε υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων, αλλά παγκόσμια σε μεγαλύτερα ποσοστά εκπεμπόμενων αερίων.

Οι ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής περιλαμβάνουν τις βιομηχανίες, τις αστικές, καθώς και τις γεωργικές και αγροτικές δραστηριότητες. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, προερχόμενοι από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, διαταράσσουν τη φυσική ισορροπία. Οι συγκεντρώσεις των ρύπων αυτών, οι οποίες παρατηρούνται αυξημένες σε μικρές χωρικές περιοχές, αναμειγνύονται με τον αέρα, δημιουργούν χημικούς μετασχηματισμούς, από τους οποίους παράγονται δευτερογενείς ρύποι (Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2014).

Οι βιομηχανικές δραστηριότητες εκπέμπουν σωματίδια και πολλούς αέριους ρύπους. Από την ανάγκη για την παραγωγή ενέργειας, όπου στην περίπτωση αυτή εκτός από αέριους ρύπους, όπως διοξείδιο και μονοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου, οξείδια του θείου, παράγεται και σωματιδιακή ύλη (η λεγόμενη ιπτάμενη τέφρα, μαύρος καπνός), δηλαδή αιωρούμενα σωματίδια που συνήθως περιέχουν πληθώρα βλαβερών και τοξικών για την υγεία συστατικών, όπως π.χ. βαρέα μέταλλα κ.ά. Η κυριότερη όμως πηγή εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων όσον αφορά το σύνολο των παγκόσμιων ανθρωπογενών εκπομπών, είναι οι μεταφορές. Δημιουργούνται, ολοένα και μεγαλύτερες ανάγκες για τις μετακινήσεις και τις μεταφορές τόσο των ανθρώπων για την καθημερινή τους μεταφορά και δραστηριότητα, όσο και για βιομηχανικούς λόγους, για προϊόντα, για την ανάγκη κατασκευαστικών έργων και άλλα. Όλες αυτές οι δραστηριότητες, εκτός των αέριων ρύπων, παράγουν αιωρούμενα σωματίδια και σκόνη ως αποτέλεσμα των διαδικασιών καύσης. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί, πως στις πηγές εκπομπής ανήκουν και η καύση και επεξεργασία απορριμμάτων, των οποίων η παραγωγή αυξάνεται συνεχώς παγκόσμια και έχουν συνήθως λανθασμένη διαχείριση με αποτέλεσμα τη ρύπανση της ατμόσφαιρας (Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2014).

Οι εκπομπές δημιουργούνται όπως αναφέρθηκε παραπάνω, και από διάφορες γεωργικές και αγροτικές δραστηριότητες. Σε αυτές προστίθενται και οι διάφοροι ψεκασμοί από αεροπλάνα, τα οποία προσθέτουν μια επιπλέον πηγή εκπομπής ρύπων. Επίσης, από τις γεωργικές και αγροτικές δραστηριότητες, δημιουργούνται οι εκπομπές σκόνης, και από τις καύσεις για εκχερσώσεις γης, αλλά και από την καύση των αγροτικών αποβλήτων, δημιουργούνται αιωρούμενα σωματίδια και άλλοι ατμοσφαιρικοί ρύποι που επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα. Τέλος, σημαντικό ρόλο σε όλα αυτά, έχουν και οι εκπομπές που παράγει το έδαφος, καθώς απελευθερώνονται αζωτούχα οξείδια.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση και γενικότερα η εκπομπή των ατμοσφαιρικών ρύπων δεν οφείλονται μόνο σε ανθρωπογενείς πηγές, αλλά υπάρχουν και διάφοροι φυσικοί παράγοντες. Αρχικά, η αποσάθρωση του εδάφους από ανέμους μεταφέρει και δημιουργεί σωματίδια, στα οποία μπορούν να περιέχονται μεταξύ άλλων και ίχνη από βαρέα μέταλλα. Οι πυρκαγιές των δασών από φυσικά αίτια, πέραν του καπνού, απελευθερώνουν αέριες χημικές ενώσεις, όπως οξείδια του άνθρακα, οξείδια του αζώτου, οξείδια του θείου, πτητικές οργανικές ενώσεις, και επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα. Οι ηφαιστειακές εκρήξεις, είναι επίσης ένα φυσικό φαινόμενο, το οποίο δημιουργεί σωματίδια και άλλα αέρια επιβαρύνοντας την ατμόσφαιρα. Η αποσύνθεση οργανικής ύλης και οι μικροβιακές διεργασίες εδαφών θεωρούνται και αυτές ως αίτια εκπομπών ατμοσφαιρικής ρύπανσης, καθώς απελευθερώνουν μεθάνιο και άλλες πτητικές οργανικές και ανόργανες ενώσεις. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως ακόμα και τα θαλάσσια σταγονίδια λόγω της εξάτμισης, απελευθερώνουν ιχνοστοιχεία και αλατούχα σωματίδια, όπως και οι κεραυνοί αλλά και οι βιογενείς εκπομπές, όπως γύρη και σπόροι, είναι πηγές εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων (Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2014).

Συμπερασματικά, είτε από ανθρωπογενείς είτε από φυσικούς παράγοντες όπως φυσικά φαινόμενα, εκπέμπονται αέριοι ρύποι και ποικίλης χημικής σύστασης αιωρούμενα σωματίδια, είτε σε μεγάλες ποσότητες είτε σε ιχνοποσότητες, τα οποία μεταφέρονται είτε αιωρούνται στην ατμόσφαιρα, συμμετέχουν σε φωτοχημικές αντιδράσεις δημιουργώντας δευτερογενείς ενώσεις και συμβάλουν σημαντικά στο πρόβλημα το οποίο ονομάζεται ατμοσφαιρική ρύπανση.

## **2.5. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ**

Η ύπαρξη σωματιδίων στην ατμόσφαιρα είναι ένα δυναμικό φαινόμενο με συνεχείς διεργασίες παραγωγής τους, αντιδράσεις συμπύκνωσης, συσσωμάτωσης, συγκρούσεων, απόθεσης και ούτω καθεξής. Στη συνέχεια αναφέρονται οι διαδικασίες της πυρηνοποίησης, συσσώρευσης, συμπύκνωσης και συσσωμάτωσης, στις οποίες λαμβάνουν μέρος (Γεντεκάκης, Ι., 2010; Λαζαρίδης, Μ., 2010).

### Πυρηνοποίηση (nucleation)

Η πυρηνοποίηση θεωρείται ως μια διεργασία της ατμόσφαιρας, η οποία συμβάλει στη δημιουργία των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Ορίζεται ως μεταβολή της ύλης από την αέρια φάση σε μία άλλη (στερεή ή υγρή). Η μετατροπή από την αέρια φάση στην υγρή δεν πραγματοποιείται άμεσα αλλά μέσω δημιουργίας μικρών συσσωματωμένων μορίων σε μορφή πυρήνων. Η κατάσταση αυτή δε δημιουργείται κατευθείαν, ούτε εύκολα, λόγω συγκεντρώσεων σωματιδίων που προϋπάρχουν και έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πυρηνοποίησης πάνω στην επιφάνεια των σωματιδίων αυτών (Γκικούδης, X., 2015).

#### Συσσωρευση (accumulation)

Η διαδικασία της συσσωρευσης συμβάλει στην αύξηση του μεγέθους των σωματιδίων. Για την ακρίβεια, η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα για τα σωματίδια εκείνα, τα οποία προέρχονται από τα σωματίδια της περιοχής πυρηνοποίησης. Τα σωματίδια πυρηνοποίησης που αναφέρθηκαν παραπάνω, εφόσον περάσουν τα στάδια συσσωμάτωσης ή συμπύκνωσης, σχηματίζουν λεπτόκοκκα σωματίδια, τα οποία με τη σειρά τους αυξάνουν το μέγεθός τους, λόγω της συσσωρεύσής τους στην ατμόσφαιρα (Γκικούδης, X., 2015).

#### Συμπύκνωση (condensation)

Κατά τη διαδικασία της συμπύκνωσης, οι ενώσεις οι οποίες βρίσκονται στην αέρια φάση είναι δυνατόν να μεταβούν στην υγρή φάση. Για παράδειγμα, οι υδρατμοί, λόγω της διαδικασίας της συμπύκνωσης, μεταβάλλονται σε νερό ή ακόμα και παγοκρυστάλλους (Γκικούδης, X., 2015).

#### Συσσωμάτωση (coagulation)

Ως διαδικασία της συσσωμάτωσης ονομάζεται εκείνη, κατά την οποία τα αιωρούμενα σωματίδια συγκρούονται μεταξύ τους, λόγω της σχετικής κίνησης που εκτελούν μεταξύ τους, και έχουν ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό σωματιδίων με μεγαλύτερη διάμετρο. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται ο αριθμός σωματιδίων και αυξάνεται το μέγεθός τους (Γκικούδης, X., 2015).

## **2.6. ΑΕΡΙΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ**

### **CO<sub>2</sub>**

Το διοξείδιο του άνθρακα (χημικός τύπος CO<sub>2</sub>) είναι χημική ένωση που αποτελείται από δύο άτομα οξυγόνου ενωμένα με ομοιοπολικό δεσμό με ένα άτομο άνθρακα. Αποτελεί υποπροϊόν όλων των καύσεων ορυκτών καυσίμων (κάρβουνου, πετρελαίου, βενζίνης, φυσικού αερίου κλπ.), αλλά και του ξύλου, πλαστικών κ.ά. οργανικών ενώσεων. Παράγεται ακόμα από την αποσύνθεση οργανικών ουσιών. Μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα εκπέμπονται επίσης από τα ηφαίστεια και από τις θερμές πηγές αλλά και από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων. Από το ανθρωπογενές CO<sub>2</sub> που εκπέμπεται από τα ορυκτά καύσιμα: 50% διαλύεται στους ωκεανούς και απορροφάται από τα επίγεια οικοσυστήματα και το 50% διοχετεύεται στην ατμόσφαιρα. Η συγκέντρωση κυμαίνεται εποχικά αλλά και σε περιφερειακή βάση. Η διακύμανση αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στην εποχική ανάπτυξη των φυτών στο Βόρειο Ημισφαίριο. Οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα στο βορρά μειώνονται κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του καλοκαιριού καθώς το καταναλώνουν τα φυτά και αυξάνονται το φθινόπωρο και το χειμώνα όταν τα φυτά πεθαίνουν και αποσυνθέτονται. Στις αστικές περιοχές οι συγκεντρώσεις είναι γενικά υψηλότερες. Το CO<sub>2</sub> θεωρείται ένα από τα κυριότερα θερμοκηπιακά αέρια, αφού διαπερνάται από το ορατό φως αλλά απορροφά έντονα στην υπέρυθη και εγγύς υπέρυθη περιοχή του φάσματος (Βικιπαίδεια, Διοξείδιο του άνθρακα, 2022).

### **CO**

Το μονοξείδιο του άνθρακα, είναι ανόργανη διατομική χημική ένωση, που περιέχει άνθρακα και οξυγόνο, με μοριακό τύπο CO. Το χημικά καθαρό μονοξείδιο του άνθρακα, στις «συνηθισμένες συνθήκες», δηλαδή σε θερμοκρασία 25°C και υπό πίεση 1 atm, είναι άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο. Είναι τοξικό για τους ανθρώπους και τα αιμογλοβικά ζώα, ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις (από τα 35 ppm), παρ' όλο που παράγεται σε μικρές ποσότητες από τον κανονικό ζωικό μεταβολισμό και θεωρείται ότι συμμετέχει σε κάποιες φυσιολογικές βιολογικές λειτουργίες. Στην ατμόσφαιρα, είναι πολύ ευμετάβλητο και βραχύβιο (Βικιπαίδεια, Μονοξείδιο του άνθρακα, 2022).

### **SO<sub>2</sub>**

Το διοξείδιο του θείου είναι ανόργανη χημική ένωση με μοριακό τύπο SO<sub>2</sub>. Το μόριό του είναι τριατομικό και δεν είναι γραμμικό. Είναι αέριο με οσμή «καιόμενου θείου», και

πράγματι αποτελεί το κυριότερο προϊόν της καύσεως ουσιών που περιέχουν θείο, γεγονός με περιβαλλοντική σημασία. Το διοξείδιο του θείου απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα κατά τις εκρήξεις των ηφαιστείων και σε μικρότερες ποσότητες από διάφορες βιομηχανίες και την καύση ορυκτών καυσίμων (Βικιπαίδεια, Διοξείδιο του θείου, 2022).

## **NO<sub>x</sub>**

Στην ατμοσφαιρική χημεία περιβάλλοντος, με τον γενικό όρο οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>) γίνεται αναφορά στο αέριο μείγμα μονοξειδίου του αζώτου (NO) και διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>), που υπάρχει στην γήινη ατμόσφαιρα, αποτελώντας έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες ρύπανσής της. Τα αέρια αυτά συνεισφέρουν στο σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους και της όξινης βροχής, ενώ επιπλέον επηρεάζουν το τροποσφαιρικό όζον (O<sub>3</sub>).

Τα οξειδία του αζώτου συνήθως παράγονται με αντίδραση ανάμεσα σε άζωτο και οξυγόνο κατά τη διάρκεια καύσης καυσίμων (π.χ. υδρογονανθράκων) στον αέρα, ιδιαίτερα σε υψηλές θερμοκρασίες, όπως για παράδειγμα σε κινητήρες αυτοκινήτων (Βικιπαίδεια, Οξειδία του αζώτου, 2022).

## **VOCs**

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις (volatile organic compounds - VOCs) είναι μια μεγάλη ομάδα υγρών και αερίων, πολλές από τις οποίες είναι άχρωμες και άοσμες. Δεδομένου ότι είναι πτητικές ουσίες, τα υγρά εξατμίζονται εύκολα σε θερμοκρασία δωματίου.

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις αποτελούν ζήτημα γενικής ανησυχίας λόγω της ικανότητάς τους να αντιδρούν με άλλους ρύπους, όπως π.χ. οξειδία του αζώτου στα χαμηλά στρώματα της ατμόσφαιρας, σχηματίζοντας όζον. Οι υψηλές συγκεντρώσεις τροποσφαιρικού όζοντος κοντά στην επιφάνεια του εδάφους μπορούν να βλάψουν την ανθρώπινη υγεία, να προκαλέσουν βλάβες στις καλλιέργειες (Interpon, 2022).

## **H<sub>2</sub>S**

Το υδρόθειο είναι ανόργανη δυαδική χημική ένωση, δύσοσμη, επιβλαβής για την υγεία, η οποία μεταξύ άλλων βρίσκεται στα ηφαιστειακά αέρια (Βικιπαίδεια, Υδρόθειο, 2022).



### **NH<sub>3</sub>**

Η αμμωνία είναι ανόργανη δυαδική χημική ένωση που περιέχει άζωτο και υδρογόνο, αποτελεί δομικό συστατικό για τη σύνθεση πολλών φαρμακευτικών, αλλά και πολλών εμπορικών καθαριστικών προϊόντων. Παρά την ευρύτατη χρήση της, η ίδια η αμμωνία είναι καυστική και βλαβερή (Βικιπαίδεια, Αμμωνία, 2021).

### **CH<sub>4</sub>**

Το μεθάνιο είναι δυαδική οργανική χημική ένωση. Οι πηγές έκλυσης μεθανίου στην ατμόσφαιρα της Γης περιλαμβάνουν κυρίως τα ηφαίστεια, τις χωματερές και την κτηνοτροφία, όπου εκπέμπεται από την εντερική ζύμωση κυτταρινούχων τροφών, ιδιαίτερα στα μηρυκαστικά ζώα. Το μεθάνιο είναι δύσκολο (και δαπανηρό) να μεταφερθεί από τις πηγές του ή και να αποθηκευτεί. Για τη μεταφορά του χρησιμοποιούνται συχνά ειδικοί αγωγοί (συνήθως με τη μορφή του φυσικού αερίου), ή και ειδικά πλοία (μεταφορικά υγροποιημένου φυσικού αερίου, LNG carriers), που το μεταφέρουν σε υγρή μορφή υπό ψύξη. Το μεθάνιο, μαζί με το υπόλοιπο φυσικό αέριο, συνήθως (σχηματίζεται με συνδυασμό βιολογικών και γεωλογικών διεργασιών και) παγιδεύεται με φυσικό τρόπο κάτω από το έδαφος και κάτω από το θαλάσσιο πυθμένα. Το παγιδευμένο φυσικό αέριο, μερικές φορές βρίσκει τον τρόπο να φθάνει ως την επιφάνεια και την ατμόσφαιρα, όπου (μαζί με το μεθάνιο που παράγεται και εκλύεται από άλλες πηγές), είναι γνωστό ως «ατμοσφαιρικό μεθάνιο». Το ατμοσφαιρικό μεθάνιο είναι ισχυρό αέριο θερμοκηπίου, με μεγάλο δυναμικό παγκόσμιας θέρμανσης. Το στρατοσφαιρικό μεθάνιο (δηλαδή όσο ατμοσφαιρικό μεθάνιο ανέρχεται ως τη στρατόσφαιρα) επηρεάζει επίσης το στρατοσφαιρικό στρώμα του όζοντος. Το ατμοσφαιρικό μεθάνιο είναι ισχυρότερο αέριο θερμοκηπίου ακόμα και από το διοξείδιου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), με μεγάλο δυναμικό παγκόσμιας θέρμανσης (Βικιπαίδεια, Μεθάνιο, 2022).

### **O<sub>3</sub>**

Το όζον, σχηματίζεται από το μοριακό οξυγόνο με την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας, καθώς επίσης και με την επίδραση των ατμοσφαιρικών ηλεκτρικών εκκενώσεων, και είναι παρόν σε χαμηλές συγκεντρώσεις σε όλη την ατμόσφαιρα της Γης. Το όζον είναι ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο, πολύ ισχυρότερο από ότι το μοριακό οξυγόνο, και έχει πολλές βιομηχανικές και καταναλωτικές εφαρμογές που είναι σχετικές με την οξείδωση. Ωστόσο, με το ισχυρό οξειδωτικό δυναμικό του, το όζον, προκαλεί βλάβες στο βλεννογόνο και στους αναπνευστικούς ιστούς των ζώων, αλλά και στους ιστούς των

φυτών. Στην τροπόσφαιρα (το χαμηλότερο μέρος της ατμόσφαιρας που κατοικούν άνθρωποι) το όζον θεωρείται ατμοσφαιρικός ρύπος και έχει οριστεί σειρά τιμών που αφορούν στη μετρούμενη συγκέντρωσή του. Στην τροπόσφαιρα ο στόχος είναι η μείωση της συγκέντρωσης του όζοντος, στη στρατόσφαιρα ο στόχος είναι η σταθεροποίηση της συγκέντρωσης του όζοντος. Στη στρατόσφαιρα (εξωτερικό μέρος της γήινης ατμόσφαιρας) το όζον θεωρείται η ασπίδα που απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία του ηλίου. Η μείωση της συγκέντρωσης του όζοντος στη στρατόσφαιρα ονομάστηκε τρύπα του όζοντος. Το αποκαλούμενο «στρώμα του όζοντος», ένα τμήμα της στρατόσφαιρας με μια υψηλότερη συγκέντρωση όζοντος, που κυμαίνεται μεταξύ 2 και 8 ppm, είναι ζωτικής σημασίας, γιατί αποτρέπει τη βλαβερή υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου από το να φθάσει στην επιφάνεια της Γης, προς όφελος των φυτών, των ζώων και των ανθρώπων. (Βικιπαίδεια, Όζον, 2022).

### **Βαρέα μέταλλα**

Τα βαρέα μέταλλα έχουν φυσική γεωλογική προέλευση ή είναι αποτέλεσμα βιομηχανικής δραστηριότητας και ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ενίοτε η έννοια επεκτείνεται και σε μεταλλοειδή, όπως το αρσενικό και το αντιμόνιο. Έχουν προταθεί αρκετοί εξειδικευμένοι ορισμοί, ωστόσο κανείς δεν έχει λάβει ευρεία αποδοχή. Ορισμένα βαρέα μέταλλα έχουν εξειδικευμένες χρήσεις ή είναι ιδιαίτερα τοξικά και άλλα είναι απαραίτητα ως ιχνοστοιχεία<sup>1</sup> για τον ανθρώπινο οργανισμό (Βικιπαίδεια, Βαρέα Μέταλλα, 2022).

#### **2.6.1. Επιπτώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων**

Οι αέριοι και οι σωματιδιακοί ατμοσφαιρικοί ρύποι έχουν επιπτώσεις σε διάφορους τομείς και προκαλούν πολλά φαινόμενα ρύπανσης, όπως για παράδειγμα το φαινόμενο της όξινης βροχής. Η όξινη βροχή είναι το φαινόμενο των ασυνήθιστα όξινων μετεωρολογικών κατακρημνισμάτων και εμφανίζεται μέσω της βροχής, στην οποία παρατηρείται ασυνήθιστη μείωση του pH, λόγω της διάλυσης του διοξειδίου θείου και των οξειδίων του αζώτου στα σταγονίδια της. Επιπλέον εμφανίζεται και μέσω κατακρημνισμάτων εκτός της βροχής, όπως

---

<sup>1</sup> Ιχνοστοιχεία: Εμφανίζονται σε δυο μορφές, ως ιόντα που είναι συνδεδεμένα με πρωτεΐνες ή ως σύμπλοκα με άλλα μόρια σχηματίζοντας μεταλλοένζυμα. Κάθε ιχνοστοιχείο έχει διαφορετικές χημικές ιδιότητες, οι οποίες είναι σημαντικές στο λειτουργικό τους ρόλο μέσα στα κύτταρα ή στα εξωκυττάρια τμήματα. Οι τροφές ζωικής προέλευσης είναι ανώτερες πηγές ιχνοστοιχείων από τις τροφές φυτικής προέλευσης και αυτό γιατί τα ιχνοστοιχεία βρίσκονται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις και έχουν μεγαλύτερη βιοδιαθεσιμότητα, δηλαδή απορροφώνται καλύτερα (Tettix, 2022).

είναι το χαλάζι, το χιόνι, η ομίχλη, η πάχνη αλλά και η ξηρή απόθεση όξινων επικαθίσεων (σκόνης) (Βικιπαίδεια, Όξινη βροχή, 2022).

Γενικότερα η καθαρή βροχή έχει όξινο χαρακτήρα, λόγω της διάλυσης αερίων συστατικών σε αυτήν, όπως το διοξείδιο του άνθρακα. Η όξινη βροχή όμως αναφέρεται στην παρουσία όξινων δευτερογενών ρύπων (θεικού και νιτρικού οξέος) που δεν αποτελούν συστατικά μιας καθαρής ατμόσφαιρας και προέρχονται από ανθρωπογενείς εκπομπές.

Η όξινη βροχή έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή ιστορικών κτιρίων και μνημείων και όχι μόνο. Προκαλεί επίσης τη διάβρωση υλικών, την εμφάνιση κηλίδων, τον αποχρωματισμό και τη σταδιακή καταστροφή ινών. Επιπλέον ερχόμενη σε επαφή με το έδαφος, δημιουργεί προβλήματα στο φυσικό περιβάλλον, καθώς καταστρέφει εκτός από τα υλικά, τη βλάστηση και τις γεωργικές καλλιέργειες προκαλώντας στα φυτά και στα οικοσυστήματα διάφορες βιοχημικές μεταβολές, όπως προβλήματα στην ανάπτυξη των φυτών, μάρανση και τελικά νέκρωση. Τα όξινα αιωρούμενα σωματίδια οξινίζουν επίσης το pH των λιμνών και ποταμών, επηρεάζουν τα παράλια ύδατα, τις εκβολές των ποταμών, και γενικότερα τις θρεπτικές ισορροπίες των υδάτων.

Επιπλέον, τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα επηρεάζουν το κλίμα της Γης συμμετέχοντας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επίσης καθορίζουν την ποιότητα του αέρα και όπως προαναφέρθηκε, λειτουργούν σαν πυρήνες πυρηνοποίησης και συμπύκνωσης για την δημιουργία νεφών (Γκικούδης, Χ., ΕΜΠ, 2015).

Επιπροσθέτως, οι ατμοσφαιρικοί ρύποι προκαλούν προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία. Εκτός των άμεσων ατυχημάτων που μπορεί να προκληθούν, από τα φαινόμενα που αναφέρθηκαν παραπάνω, κατά τη χρόνια έκθεση σε ατμόσφαιρα με ρύπους ή κατά την εισπνοή των ρυπασμένων σωματιδίων που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα, δημιουργούνται στον ανθρώπινο οργανισμό, ασθένειες στο αναπνευστικό σύστημα, ασθένειες σε καρδιά και αγγεία, ερεθισμοί στα μάτια, στη μύτη και στον λαιμό. Ως χειρότερες συνέπειες αναφέρονται η επιδείνωση υπαρχουσών ασθενειών που πάσχει κάποιος, αλλά ακόμη και η δημιουργία κακοηθών όγκων.

Προβλήματα προκαλούνται επίσης και στα ζώα μέσω της αναπνοής ή και της τροφής. Επιπτώσεις παρατηρούνται και στην ίδια την ατμόσφαιρα, καθώς παρατηρείται έντονα ο

σχηματισμός ομίχλης και υετού. Όπως φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 1, με αυξανόμενη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων παρατηρείται η μείωση της ορατότητας και η επιδείνωση φαινομένων, εκτός της όξινης βροχής που αναφέρθηκε παραπάνω, όπως η κλιματική αλλαγή και το νέφος της καπνομίχλης.

Τα αιωρούμενα σωματίδια θεωρούνται από τους πιο επικίνδυνους ρύπους στην ατμόσφαιρα, καθώς συχνά η δημιουργία τους οφείλεται στην οξείδωση αέριων ρύπων ή τον μετασχηματισμό αυτών. Συχνά πρόκειται για ρύπους, ιδιαίτερα βλαβερούς, καθώς μπορεί να περιέχουν καρκινογόνες ουσίες, όπως είναι για παράδειγμα ο αμιάντος και ο καπνός, ενώ σε συνδυασμό με άλλους αέριους ρύπους δημιουργούν μίγματα με υψηλότερη επικινδυνότητα για την υγεία (Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2014).

Τα αιωρούμενα σωματίδια της τάξης μεγέθους με διάμετρο μικρότερη από 10 μm, τα ονομαζόμενα PM<sub>10</sub>, παράγονται και απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα από μεταλλεύματα, από κατασκευαστικές δραστηριότητες, από πυρκαγιές και από την ατμοσφαιρική σκόνη. Η κύρια αιτία εμφάνισής τους, είναι λόγω καύσεων και χημικών μετασχηματισμών αέριων ρύπων. Λόγω του μικρού μεγέθους τους διεισδύουν βαθύτερα στους πνεύμονες στον ανθρώπινο οργανισμό, δημιουργώντας αναπνευστικά προβλήματα. Επιπλέον θεωρείται ότι, όσο πιο κοντά βρίσκεται το άτομο στην πηγή, τόσο μεγαλύτερος και γρηγορότερος ο κίνδυνος εναπόθεσής τους στους πνεύμονες του.

Αξίζει σε αυτό το σημείο να αναφερθεί, πως η επικινδυνότητα των αερομεταφερόμενων αιωρούμενων σωματιδίων αυξάνεται από ορισμένους παράγοντες, όπως είναι η πραγματοποίηση χημικών αντιδράσεων και μετασχηματισμών, το βάρος των σωματιδίων, η συγκέντρωσή τους, η αύξηση της επιφάνειάς τους και επιπλέον το χρονικό διάστημα παραμονής τους στον αέρα (π.χ. για εβδομάδες ή και μήνες), αλλά και η μεταφορά τους σε μεγάλες αποστάσεις (Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2014).

Γενικότερα έχει διαπιστωθεί, ότι η έκθεση στους ατμοσφαιρικούς ρύπους είναι υψηλότερη στις αστικές περιοχές, όπου συγκεντρώνεται περισσότερος πληθυσμός και αυξάνεται η ανθρώπινη δραστηριότητα, η χρήση των μέσων μεταφοράς, οι καύσεις από οικιακές χρήσεις και τέλος οι βιομηχανίες είναι πολύ περισσότερες και συγκεντρώνονται στις αστικές περιοχές ή και κοντά σε αυτές.

### 2.5.2. Μονάδες Μέτρησης των συγκεντρώσεων των ρύπων

#### Κατά βάρος συγκέντρωση:

Η συγκέντρωση μάζας του ρύπου ανά μονάδα όγκου αέρα μετριέται κυρίως σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### Κατ' όγκο συγκέντρωση:

Ο Όγκος ρύπου ανά όγκο αέρα μετριέται

- σε ppm, δηλαδή μέρη στο εκατομμύριο συνεπώς- Όγκος ρύπου /  $10^6$  όγκου αέρα
- σε ppb, δηλαδή μέρη στο δισεκατομμύριο- Όγκος ρύπου /  $10^9$  όγκου αέρα

$$C_v (\text{ppb}) = 10^3 C_v (\text{ppm})$$

**Τύπος συσχέτισης μονάδων συγκέντρωσης κατά βάρος και κατ' όγκο:**

$$C_m = (C_v * P * MB) / (R * T)$$

Όπου:

$C_m$  → Συγκέντρωση κατά βάρος (κ.β.)

$C_v$  → Συγκέντρωση κατά όγκο (κ.ό.)

$P$  → Πίεση σε μονάδες Πασκάλ (Pa) (μονάδα μέτρησης ατμόσφαιρας):

$MB$  → Μοριακό Βάρος ρύπου

$T$  → Θερμοκρασία σε K (βαθμοί Κέλβιν)

$R$  → Παγκόσμια σταθερά αερίων:  $8,314 \text{ Joule K}^{-1}\text{mol}^{-1}$

Συνεπώς ο τύπος διαμορφώνεται ως εξής:

$$C_m = (C_v * 100 * P * MB) / (8,314 * T)$$

## **2.7. ΑΕΡΙΕΣ ΜΑΖΕΣ**

### **2.7.1. Αέριες Μάζες**

Οι αέριες μάζες ορίζονται ως όγκοι ατμοσφαιρικού αέρα, οι οποίοι καλύπτουν γεωγραφικές εκτάσεις, και καθορίζονται σαν είδος, από δύο βασικούς παράγοντες. Αρχικά, οι αέριες μάζες που προέρχονται από μια περιοχή στην οποία έχουν παραμείνει για μεγάλα χρονικά διαστήματα, υιοθετούν τα χαρακτηριστικά της. Συνεπώς, η πηγή καθορίζει το είδος μιας αέριας μάζας και είναι κύριος παράγοντας. Με αυτό τον τρόπο, οι αέριες μάζες, χαρακτηρίζονται ως ψυχρές ή θερμές και ως υγρές ή ξηρές. Όταν μια αέρια μάζα στην τροπόσφαιρα θεωρείται ευσταθής, οφείλεται στα ψυχρά χαρακτηριστικά μιας περιοχής, ενώ όταν θεωρείται ασταθής, οφείλεται αντίστοιχα στα θερμά χαρακτηριστικά της (ECO-WEATHER, 2016).

Επιπλέον, ο καθορισμός του είδους προκύπτει και από τον παράγοντα των διαδρομών που ακολουθούν οι αέριες μάζες. Συγκεκριμένα, η διαδρομή η οποία ακολουθούν, δημιουργεί αμφίδρομες συνέπειες. Η αέρια μάζα διαφοροποιεί τον καιρό της εκάστοτε περιοχής που ακολουθεί κατά τη διάρκεια της διαδρομής της, αφού η ίδια έχει διατηρήσει τα χαρακτηριστικά που απέκτησε και τα μεταφέρει. Παρόλα αυτά μετασχηματίζεται και η ίδια, καθώς υιοθετεί τα αντίστοιχα, χαρακτηριστικά από τις περιοχές που διέρχεται (ECO-WEATHER, 2016).

Αξίζει να αναφερθεί, πως οι δύο κυριότερες από τις πηγές που αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι οι πηγές πολικών αέριων μαζών (polar air masses), όπου συμπεριλαμβάνονται οι περιοχές της Σιβηρίας, του Αρκτικού και Ανταρκτικού Ωκεανού και της περιοχής του Βόρειου Καναδά, και οι πηγές τροπικών αέριων μαζών (tropical air masses), που περιλαμβάνουν τους Τροπικούς Ωκεανούς και την Έρημο Σαχάρα (ECO-WEATHER, 2016).

Σημειώνεται, πως οι αέριες μάζες διαμορφώνονται με χαρακτηριστικά ψυχρού-ξηρού και ψυχρού-υγρού κλίματος, στην περίπτωση των πολικών αέριων μαζών και με χαρακτηριστικά θερμού-ξηρού και θερμού-υγρού κλίματος, στην περίπτωση των τροπικών αέριων μαζών. Οι ψυχρές αέριες μάζες, δηλαδή οι μάζες οι οποίες χαρακτηρίζονται ως πολικές, όταν κατά τη διαδρομή τους συναντούν θερμό κλίμα, γίνονται ασταθείς αφού θερμαίνονται από κάτω. Αντίθετα, οι θερμές αέριες μάζες, δηλαδή οι μάζες οι οποίες χαρακτηρίζονται ως τροπικές, όταν κατά τη διαδρομή τους συναντούν ψυχρό κλίμα, γίνονται ευσταθείς αφού ψύχονται από

*"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων  $PM_{10}$  στην πόλη των Χανίων"*

*Καραβά Στυλιανή*

κάτω. Επιπροσθέτως, οι αέριες μάζες, γίνονται υγρές, κινούμενες πάνω από ωκεανούς και θαλάσσιες εκτάσεις, ενώ αντίθετα γίνονται ξηρές κινούμενες πάνω από χερσαίες και ξηρές εκτάσεις (ECO-WEATHER, 2016).



Εικόνα 1: Ορατό Φαινόμενο Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

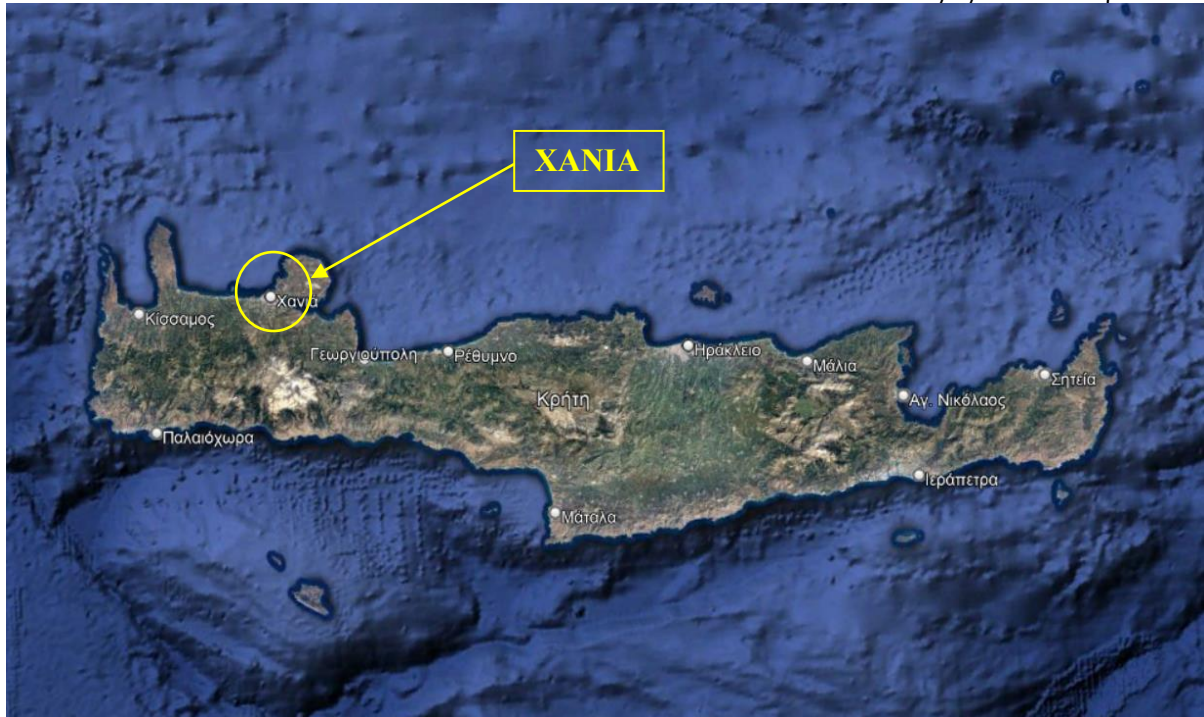
<p style="text-align: center;"><b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b> <b>ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ</b></p>
---

**3.1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗ ΥΠΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ**

Η πόλη των Χανίων είναι πρωτεύουσα του Δήμου Χανίων και αποτελεί την έδρα μιας εκ των τεσσάρων Περιφερειακών Ενοτήτων της Περιφέρειας Κρήτης, και βρίσκεται στα δυτικά της νήσου Κρήτης, όπως φαίνεται παρακάτω και σημειώνεται με χρώμα κίτρινο, στην παρακάτω Εικόνα 2. Είναι το δεύτερο μεγαλύτερο αστικό κέντρο της Κρήτης, το οποίο καταλαμβάνει έκταση με συνολικό εμβαδόν 13 km<sup>2</sup>. Ο Δήμος Χανίων αριθμεί 156.585 κατοίκους (απογραφή 2021) και έχει συνολική έκταση 2.376 km<sup>2</sup> (Βικιπαίδεια, Νομός Χανίων, 2022).

Τα Χανιά είναι παραλιακή πόλη της βορειοδυτικής Κρήτης, που κατέχει ένα από τα σημαντικότερα λιμάνια της, τη Σούδα. Πέρα από τα Χανιά, η ευρύτερη αστική περιοχή περιλαμβάνει μεγαλύτερα προάστια, τα οποία έχουν ενωθεί οικιστικά με το δήμο Χανίων και αυτά περιλαμβάνουν περιοχές, όπως τα Κουνουπιδιανά, τις Μουρνιές, τη Σούδα, τα Νεροκούρου, το Δαράτσο, τα Περιβόλια, το Γαλατά και το Αρώνι. Στην αρχαιότητα υπήρξε σημαντική μινωική πόλη και έχει ταυτισθεί με την αρχαία Κυδωνία (Βικιπαίδεια, Χανιά, 2022).

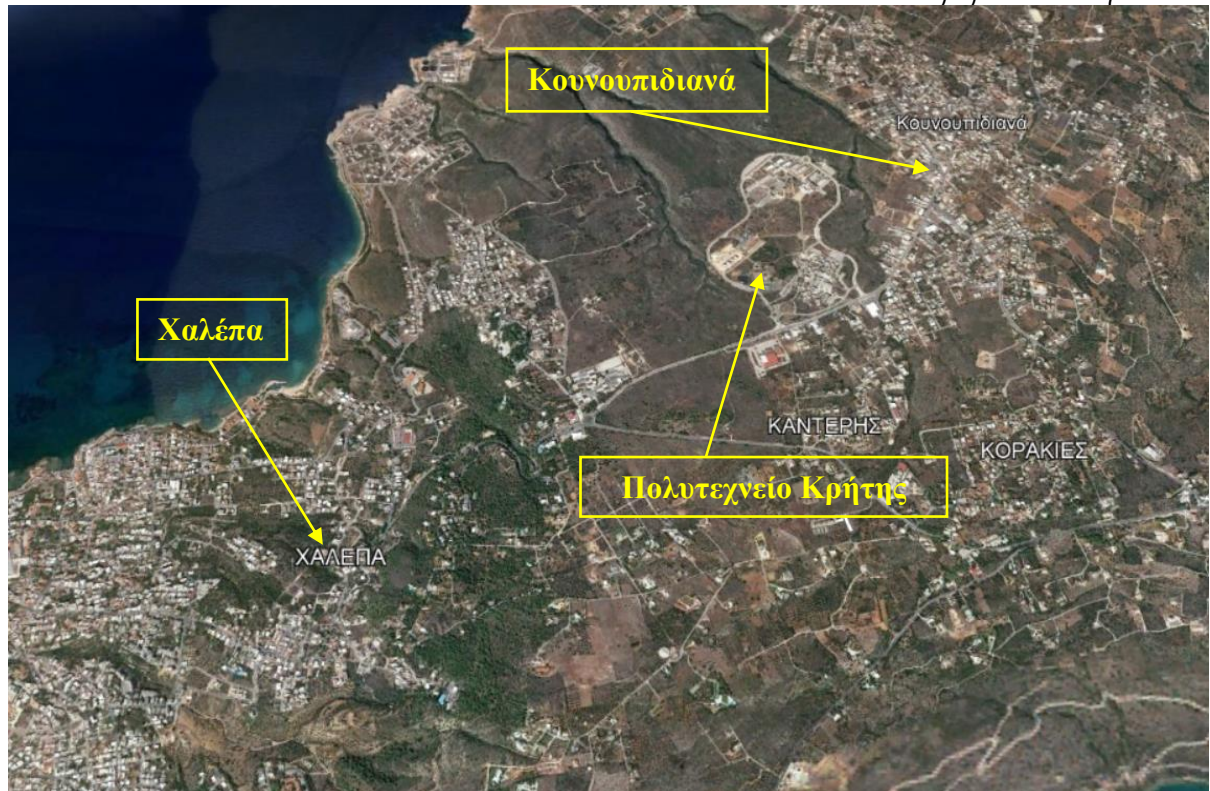




Εικόνα 2: Δορυφορική απεικόνιση της Νήσου Κρήτης

[Πηγή: Google Earth, 2022]

Οι υπό μελέτη μετρήσεις λήφθηκαν στην πόλη των Χανίων και συγκεκριμένα στις εγκαταστάσεις του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου (ΕΛΜΕΠΑ) στην περιοχή της Χαλέπας και στον χώρο του Πολυτεχνείου Κρήτης στην Πολυτεχνειούπολη που βρίσκεται στην περιοχή των Κουνουπιδιανών, όπως παρουσιάζονται και σημειώνονται με χρώμα κίτρινο, στην παρακάτω Εικόνα 3.



Εικόνα 3: Δορυφορική απεικόνιση των περιοχών που λήφθηκαν οι μετρήσεις  
[Πηγή: Google Earth, 2022]

Διοικητικά, το Πολυτεχνείο Κρήτης, είναι Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα και βρίσκεται στην περιοχή των Κουνουπιδιανών του Δήμου Χανίων. Το Παράρτημα Χανίων του ΕΛΜΕΠΑ βρίσκεται στην περιοχή της Χαλέπας του Δήμου Χανίων (βλ. σχετικά τον Νόμο 4600/2019-ΦΕΚ 43/Α/09.03.2019).

### **3.2. ΑΝΑΓΛΥΦΟ, ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ, ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΆΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

#### Ανάγλυφο και μορφολογία

Το ανάγλυφο του εδάφους του νομού Χανίων ποικίλει μορφολογικά, καθώς είναι κατά το 1/5 της έκτασης πεδινό, κατά το 1/5 της έκτασης ημιορεινό και κατά τα 3/5 της έκτασης ορεινό. Χαρακτηρίζεται κυρίως από τα μεγάλα φαράγγια, τα οποία σχηματίζονται από τα επιβλητικά Όρη. Τα Λευκά Όρη (ή Μαδάρες) χωρίζουν το Νομό Χανίων σε δύο εντελώς διαφορετικές περιοχές, όπου συναντάται από την μία το πεδινό τμήμα, που περιλαμβάνει και

την παραλιακή ζώνη μήκους 415 km, και από την άλλη το ορεινό τμήμα (Βικιπαίδεια, Νομός Χανίων, 2022).

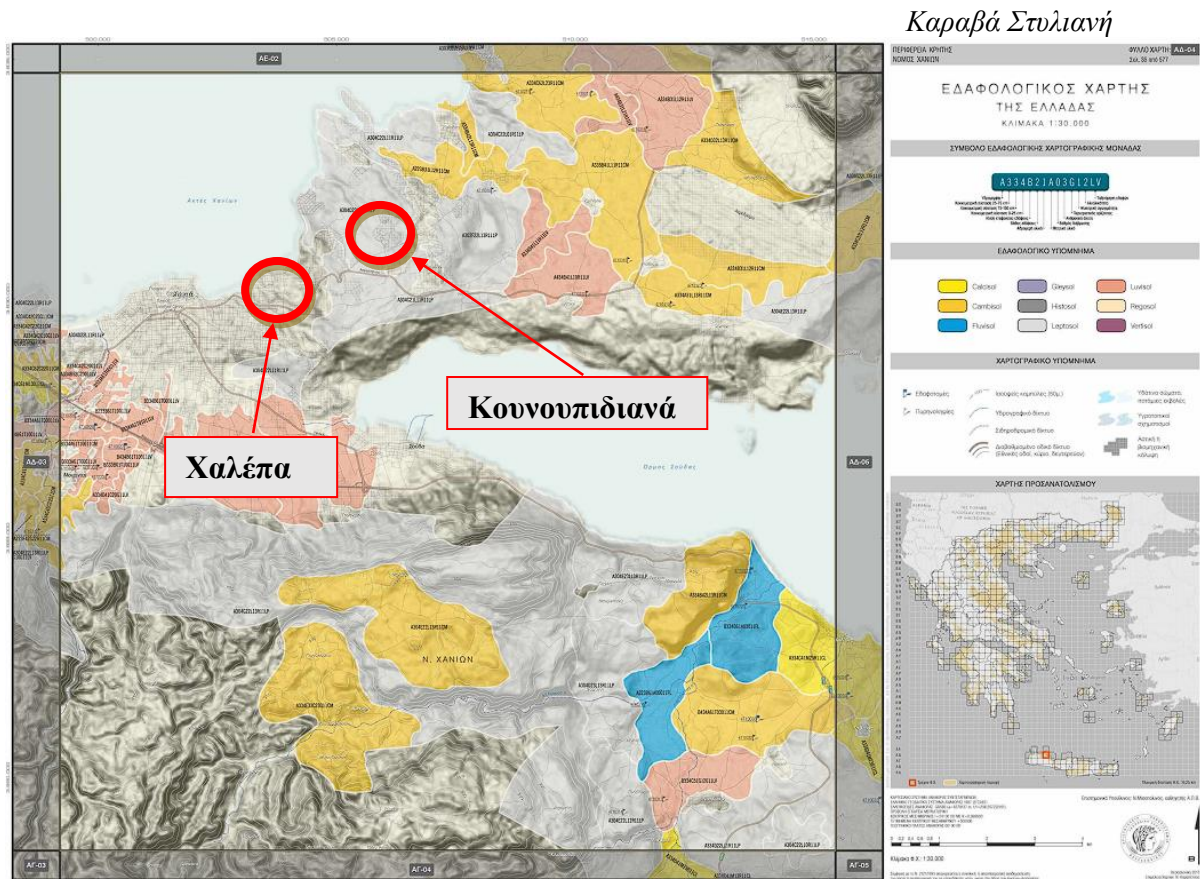
#### Εδαφολογικά χαρακτηριστικά

Στην περιοχή μελέτης, δηλαδή στην περιοχή της Χαλέπας και των Κουνουπιδιανών, όπως παρουσιάζονται με κύκλο κόκκινου χρώματος, στην παρακάτω Εικόνα 4, φαίνεται ο τύπος του εδάφους της κάθε περιοχής. Συγκεκριμένα, και οι δύο περιοχές εντάσσονται στην κατηγορία της αστικής ή βιομηχανικής κάλυψης, ενώ το είδος του εδάφους κυρίως γύρω από την περιοχή των Κουνουπιδιανών χαρακτηρίζεται ως λεπτοέδαφος (Leptosol, με γκρι χρώμα στην Εικόνα 4).

Το λεπτοέδαφος είναι ένα πολύ ρηχό είδος εδάφους, το οποίο εμφανίζεται πάνω από σκληρό βράχο, επάνω από εδάφη τα οποία είναι βαθύτερα και πετρώδη (λιθικά λεπτοεδάφη) ή σχηματίζεται σε υλικά υψηλών επιπέδων ασβεστίου (ασβεστιτικά λεπτοεδάφη). Παρατηρείται σε περιοχές κυρίως ορεινού χαρακτήρα, από το επίπεδο της θάλασσας έως τις υψηλότερες κορυφές. Μπορεί επίσης να εμφανιστεί σε σκληρούς βράχους, όπου η διάβρωση έχει συμβαδίσει με το σχηματισμό του εδάφους και επιπλέον υπάρχουν βαθύτερα εδάφη με χαλίκια και πετρώδη μητρικά υλικά που δεν περιέχουν λεπτό χώμα. Επιπλέον, τα λεπτοεδάφη χαρακτηρίζονται ως αζωνικά και είναι μη ελκυστικά εδάφη για γεωργικές περιοχές, λόγω της ανικανότητάς τους να συγκρατούν νερό. Τέλος αξίζει να αναφερθεί πως παρατηρείται ελάχιστη ανάπτυξη βλάστησης και εμφανίζονται σε περιοχές, όπου ο σχηματισμός του εδάφους δεν έχει επηρεαστεί από τις κλιματικές συνθήκες (Chesworth et al, 2008), (Britannica, 2000).



## "Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων PM<sub>10</sub> στην πόλη των Χανίων"



Εικόνα 4: Απόσπασμα Εδαφολογικού Χάρτη της Ελλάδος, Περιφέρεια Κρήτης, Νομός Χανίων, Φύλλο Χάρτη ΑΔ-04, σελ 85 από 577

[Πηγή: ΙΓΜΕ, 2015]

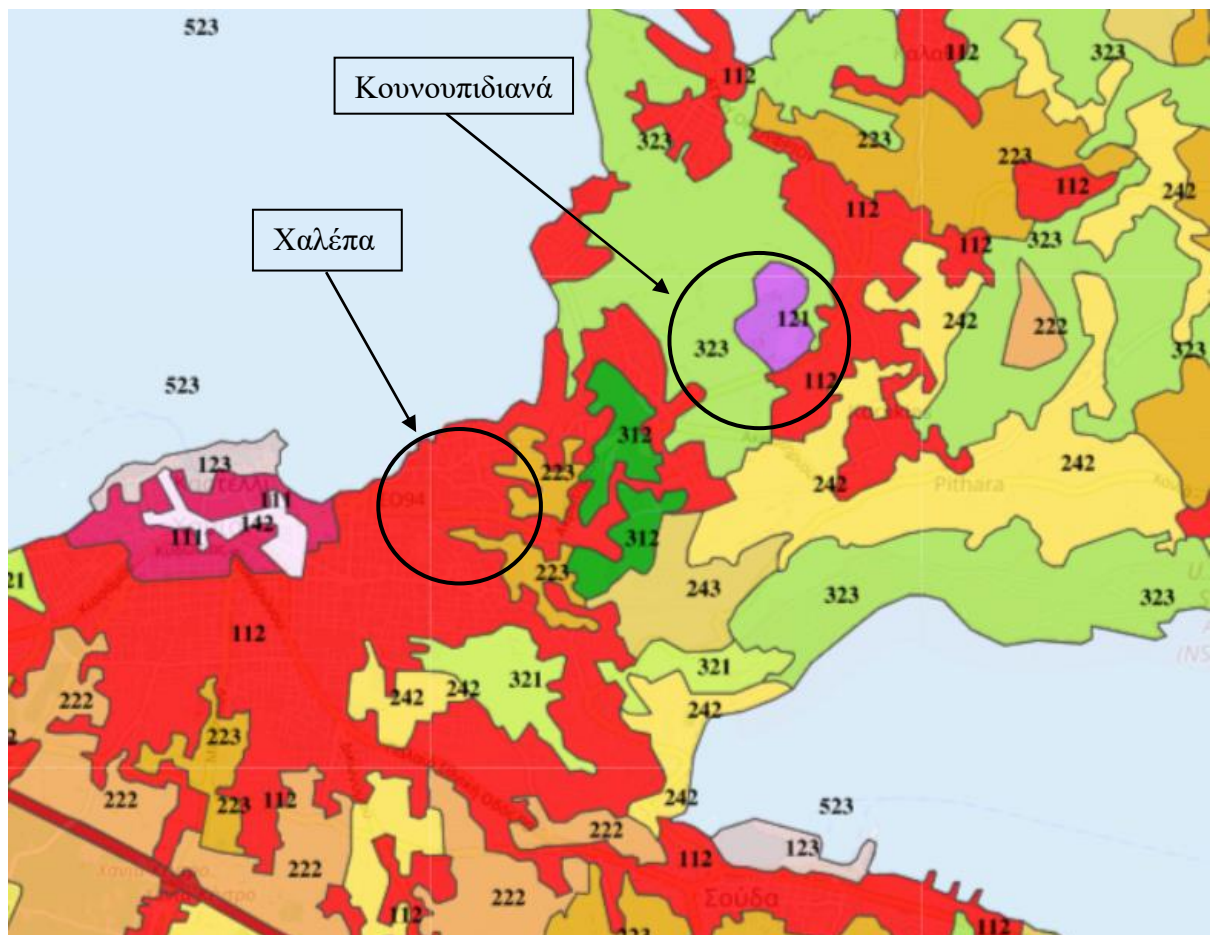
### Κοινωνικά χαρακτηριστικά

Ο πληθυσμός της Περιφερειακής Ενότητας Χανίων ανέρχεται στους 156.585 κατοίκους, σύμφωνα με τα στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ), από την απογραφή του έτους 2021. Στο Δήμο Χανίων, με έδρα τα Χανιά, ο πληθυσμός ανέρχεται στους 108.642 κατοίκους, εκ των οποίων οι 13.100 κάτοικοι ανήκουν στη Δημοτική Ενότητα Ακρωτηρίου. Οι κάτοικοι της Δημοτικής Κοινότητας των Κουνουπιδιανών είναι 8.620 (ΕΛΣΤΑΤ, 2011).

### Χρήσεις Γης

Η κάλυψη της Γης καθορίζεται από την μορφολογία του εδάφους της περιοχής και από τις ενεργειακές χρήσεις. Στην περιοχή της Χαλέπας και των Κουνουπιδιανών, όπως παρατηρείται στην παρακάτω Εικόνα 5, παρουσιάζονται οι καλύψεις γης με βάση το πρόγραμμα ανάλυσης γης CORINE LAND COVER (CLC) 2018. Η περιοχή της Χαλέπας, και συνεπώς ο σταθμός μέτρησης του ΕΛΜΕΠΑ, χωροθετείται εντός της έκτασης η οποία σημειώνεται με κόκκινο χρώμα στην παρακάτω Εικόνα 5 και προσδιορίζεται από τον αριθμό 112. Βάσει των

παραπάνω χαρακτηρίζεται ως περιοχή έκτασης αστικού ιστού και συγκεκριμένα ενός ασυνεχούς αστικού ιστού. Η περιοχή των Κουνουπιδιανών χαρακτηρίζεται κυρίως ως έκταση σκληροφυλλικής βλάστησης, σημειώνεται με πράσινο χρώμα, όπως φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 5, και προσδιορίζεται με τον αριθμό 323. Παρόλα αυτά η ευρύτερη περιοχή των Κουνουπιδιανών+ χαρακτηρίζεται σε ορισμένα σημεία και ως περιοχής έκτασης αστικού ιστού. Τέλος αξίζει να σημειωθεί, πως ο χώρος έκτασης του Πολυτεχνείου και συνεπώς ο σταθμός μέτρησης που χωροθετείται εντός αυτού, σημειώνεται με μωβ χρώμα στην Εικόνα 5 και προσδιορίζεται από τον αριθμό 121, ο οποίος χαρακτηρίζει περιοχές με εμπορικές ή βιομηχανικές δραστηριότητες (ΥΠΕΝ, Corine Land Cover, 2018).



Εικόνα 5: Απόσπασμα Χάρτη Κάλυψης Γης - Corine Land Cover, 2018

[Πηγή: ΥΠΕΝ – Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Corine Land Cover, 2018]

### **3.3. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Η Κρήτη γενικότερα, παρουσιάζει κυρίως μεσογειακό τύπο κλίματος, με μεγάλη κλιματική ποικιλία. Αυτό οφείλεται, στο μεγάλο υψομετρικό εύρος και στο έντονο μορφολογικά ανάγλυφο που παρουσιάζει. Το μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζεται από ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και από ήπιους χειμώνες (Αυτοδιοίκηση, 2022).

Συγκεκριμένα, το κλίμα των Χανίων χαρακτηρίζεται από βροχερούς και ήπιους χειμώνες, από το μήνα Δεκέμβριο έως και το μήνα Μάρτιο, οι οποίοι είναι μικρής έντασης αλλά μεγάλης διάρκειας. Σε περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο, κυρίως άνω των 1.000 μέτρων, εκτός από τις βροχοπτώσεις, παρουσιάζεται και το φαινόμενο των χιονοπτώσεων, όπου τα χιόνια καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος των Λευκών Ορέων και διατηρούνται περίπου έως και το μήνα Απρίλιο. Επιπλέον, η άνοιξη ξεκινάει από το μήνα Απρίλιο και διαρκεί έως το μήνα Μάιο, όπου στο διάστημα αυτό παρατηρείται μια περίοδος ξηρασίας με λίγες βροχοπτώσεις. Επίσης σημειώνονται ορισμένα θερμά επεισόδια κατά τους μήνες του Μαρτίου και Απριλίου, καθώς παρατηρείται το φαινόμενο της μεταφοράς της σκόνης από την έρημο της Σαχάρας, όπου μεταφέρεται από έναν άνεμο ο οποίος αποκαλείται Λίβας, καθώς προέρχεται από τη Λιβύη. Το καλοκαίρι ξεκινάει από το μήνα Μάιο και η διάρκειά του είναι έως το τέλος του μήνα Σεπτεμβρίου. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού παρουσιάζεται ο μήνας Ιούλιος ως θερμότερος και με τις υψηλότερες θερμοκρασίες. Το φθινόπωρο ξεκινάει από το μήνα Σεπτέμβριο και διαρκεί έως και το μήνα Νοέμβριο, όπου παρατηρούνται βροχοπτώσεις και αρκετή υγρασία. Αξίζει να αναφερθεί, πως η ηλιοφάνεια συνολικά σε όλο το νησί θεωρείται από τις μεγαλύτερες σε διάρκεια στην Ευρώπη (Βικιπαίδεια, Κλίμα – Χανιά, 2021).

Ο κοντινότερος μετεωρολογικός σταθμός μέτρησης, ιδιοκτησίας του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, βρίσκεται εντός της Πολυτεχνειούπολης του Πολυτεχνείου Κρήτης. Χωροθετείται γεωγραφικά με πλάτος 35,53337° N και μήκος 24,06835° E και βρίσκεται στο υψόμετρο των 137 μέτρων. Στο σταθμό αυτό λαμβάνονται δεδομένα για τη θερμοκρασία, την υγρασία, τον άνεμο, την βαρομετρική πίεση, τον υετό, τη βροχή, την ηλιακή και υπεριώδη ακτινοβολία (Meteo, 2022).

### **3.4. ΤΡΟΧΟΦΟΡΑ ΧΑΝΙΩΝ (2015-2016)**

Μια από τις κυριότερες πηγές εκπομπής εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> είναι τα τροχοφόρα. Στην πόλη των Χανίων παρουσιάζεται αυξημένη κυκλοφορία, ιδιαίτερα στο κέντρο της πόλης αλλά και στις κοντινές γύρω περιοχές, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οι περιοχές της Χαλέπας και των Κουνουπιδιανών, δηλαδή η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας.

Σύμφωνα με μετρήσεις που διενεργήθηκαν από απογραφή του έτους 2011 από την Ελληνική Στατιστική Αρχή, έχουν καταγραφεί τα τροχοφόρα που κυκλοφορούσαν στα Χανιά τα έτη 2015 και 2016, τα οποία παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Τροχοφόρα ανά κατηγορία στα Χανιά για τα έτη 2015 και 2016

[Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011]

<b>2015</b>	Επιβατικά	Φορτηγά	Λεωφορεία	Μοτοσυκλέτες
Ιδιωτικής Χρήσης	57.878	26.834	-	31.044* *136, εκ των οποίων είναι φορτηγές μοτοσυκλέτες ιδιωτικής χρήσεως
Δημόσιας Χρήσης	357	463	303	87
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>58.235</b>	<b>27.297</b>	<b>303</b>	<b>31.131</b>
<b>2016</b>	Επιβατικά	Φορτηγά	Λεωφορεία	Μοτοσυκλέτες
Ιδιωτικής Χρήσης	58.363	27.132	-	31.646* *136, εκ των οποίων είναι φορτηγές μοτοσυκλέτες ιδιωτικής χρήσεως
Δημόσιας Χρήσης	357	463	300	87
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>58.720</b>	<b>27.595</b>	<b>300</b>	<b>31.733</b>

*"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων PM<sub>10</sub> στην πόλη των Χανίων"*

*Καραβά Στυλιανή*

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 1, συγκρίνοντας τα δεδομένα από τα έτη 2015 και 2016, δεν παρουσιάζονται μεγάλες αλλαγές ως προς την αύξηση ή μείωση των τροχοφόρων. Παρόλα αυτά θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ως προς το συνολικό αριθμό τους, καθώς είναι μια από τις πηγές εκπομπής, στις οποίες οφείλεται η συγκέντρωση των εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> στα Χανιά.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ

Για την περιοχή των Χανίων, οι κύριες πηγές επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας είναι:

- Η οδική κυκλοφορία
- Η λειτουργία των λιμένων και των αεροδρομίων
- Οι κεντρικές θερμάνσεις και τα τζάκια τον χειμώνα
- Η υφιστάμενη (περιορισμένη) βιομηχανική, μεταλλευτική και εξορυκτική δραστηριότητα
- Η μεταφερόμενη ρύπανση από την Αφρική λόγω μετεωρολογικών συνθηκών.

Οι σημαντικότεροι ρύποι που εκπέμπονται ανά πηγή έχουν ως εξής (Γεντεκάκης, Ι., 2010):

- Από την βιομηχανία : σωματίδια, υδρογονάνθρακες και άλλες πτητικές οργανικές ενώσεις, διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, φθόριο, χλώριο, υδρόθειο κ.ά., ανάλογα με το είδος της βιομηχανίας
- Από τις μηχανές εσωτερικής καύσης (οχήματα) : μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου, διοξείδιο του θείου, άκαυστοι υδρογονάνθρακες και άλλες πτητικές οργανικές ενώσεις, σωματίδια.
- Από τις εστίες καύσης (κεντρική θέρμανση, λεβητοστάσια κλπ.) : διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, σωματίδια, άκαυστοι υδρογονάνθρακες και άλλες πτητικές οργανικές ενώσεις.

Για τον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, τόσο διεθνώς, όσο και στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.), συμπεριλαμβανομένης της χώρας μας, έχουν θεσπιστεί ανώτατες οριακές τιμές συγκεντρώσεων (όρια) για τους σημαντικότερους ρύπους.

Τα όρια αυτά κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας (αφορούν μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις των κύριων ατμοσφαιρικών ρύπων στην ατμόσφαιρα και αναφέρονται, είτε σε απόλυτες μέγιστες τιμές, είτε σε μέσες τιμές για συγκεκριμένη χρονική περίοδο).
- Όρια εκπομπών (αφορούν μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ρύπων στα αερολύματα που εκπέμπονται από διάφορες πηγές, σταθερές ή κινητές)
- Όρια ποιότητας καυσίμων (αφορούν μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις συγκεκριμένων ουσιών που περιέχονται στα υγρά καύσιμα).

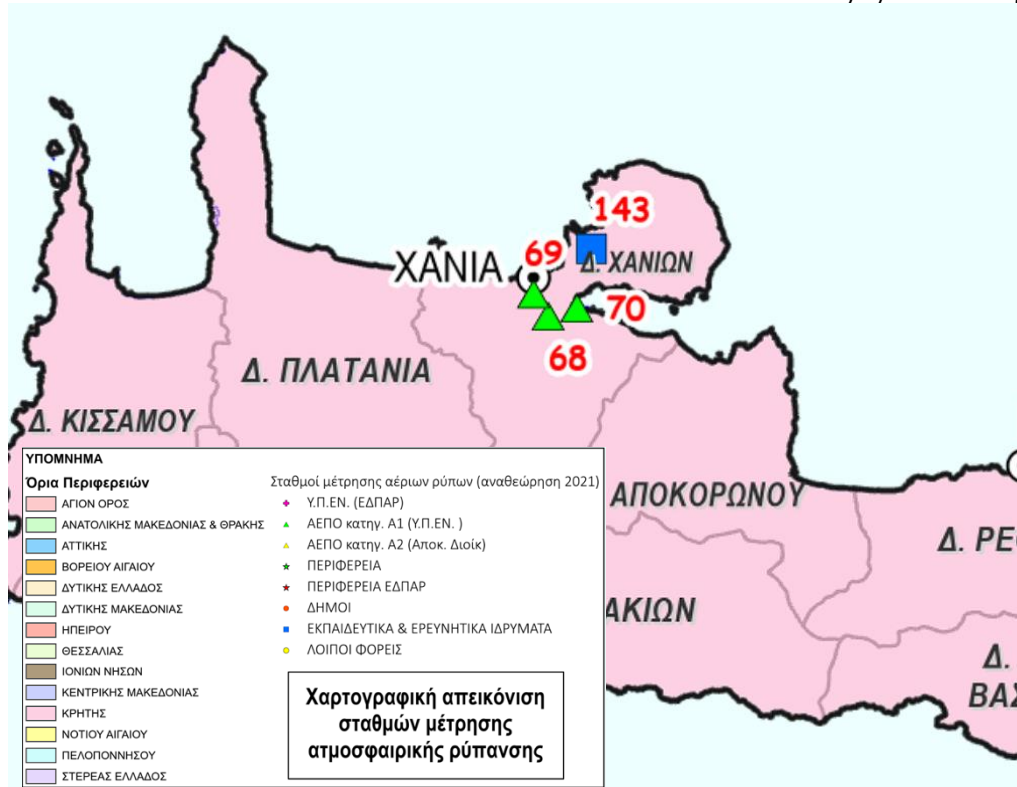
Στην χώρα μας ισχύουν νομοθετημένα όρια προστασίας της ανθρώπινης υγείας για τους ρύπους μονοξειδίου του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, διοξείδιο του αζώτου, βενζόλιο, αιωρούμενα σωματίδια PM<sub>10</sub>, μόλυβδο και όζον σύμφωνα με τα όρια ποιότητας ατμόσφαιρας που έχουν καθιερωθεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Με μία σειρά από νέες οδηγίες σχετικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση, θεσπίστηκαν από την Ευρωπαϊκή Ένωση, πέραν των άλλων, νέα όρια για τους διάφορους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Τα όρια αυτά αναφέρονται τόσο στην προστασία της ανθρώπινης υγείας όσο και των οικοσυστημάτων.

Στην παρούσα φάση έχουν εκδοθεί:

- Η οδηγία – πλαίσιο για την ατμοσφαιρική ρύπανση (οδηγία 1996/62/ΕΚ) για την εκτίμηση και διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος (ΚΥΑ 3277/209/2000, (ΦΕΚ 180/Β/17.2.2000).
- Η πρώτη «θυγατρική» της οδηγία (οδηγία 1999/30/ΕΚ) για τις οριακές τιμές διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων και μολύβδου στον αέρα του περιβάλλοντος. (ΦΕΚ125 Β/5.6.2002).
- Η δεύτερη «θυγατρική» της οδηγία (οδηγία 2000/69/ΕΚ) για τις οριακές τιμές βενζολίου και μονοξειδίου του άνθρακα στον αέρα του περιβάλλοντος.
- Η τρίτη «θυγατρική» της οδηγία (οδηγία 2002/3/ΕΚ) σχετικά με το όζον στον ατμοσφαιρικό αέρα.
- Η τέταρτη «θυγατρική» της οδηγία (οδηγία 2004/107/ΕΚ) σχετικά με το αρσενικό, κάδμιο, υδράργυρο νικέλιο και τους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες στον αέρα του περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με την εθνική και κοινοτική νομοθεσία αποτελεί υποχρέωση της χώρας η λειτουργία δικτύου σταθμών μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Για το σκοπό αυτό το ΥΠΕΝ ονομαζόμενο παλαιότερα ως Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ) έχει δημιουργήσει το Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΕΔΠΑΡ), το οποίο ξεκίνησε να λειτουργεί από το έτος 2000.

Στην παρακάτω Εικόνα 6 δίνεται ο σχετικός χάρτης με τους σταθμούς μέτρησης του Εθνικού Δικτύου ΕΔΠΑΡ στο Νομό Χανίων.



Εικόνα 6: Χάρτης σταθμών μέτρησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης ( Σταθμοί Νο. 68, 69, 70: ΔΕΗ Α.Ε., Νεροκούρου, Χανιά, Νο. 143: Ερευνητικός Σταθμός Πολυτεχνείου Κρήτης, Κουνουπιδιανά, Χανιά)  
[Πηγή: ΥΠΕΝ, 2021]

Όπως γίνεται αντιληπτό από τον παραπάνω χάρτη της Εικόνας 6 στην περιοχή μελέτης (Νομός Χανίων), υπάρχουν σταθμοί μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης, συνδεδεμένοι στο δίκτυο του ΕΔΠΑΡ. Οι σταθμοί Νο. 68, 69, 70, μετράνε το διοξείδιο του αζώτου- οξείδια του αζώτου ( $NO_2$ - $NO_x$ ). Ο φορέας λειτουργίας είναι η Δ.Ε.Η. Α.Ε. και οι μετρήσεις διαβιβάζονται ετησίως υπό μορφή έκθεσης και κατόπιν επεξεργασίας από την εταιρία, στην διεύθυνση Περιβαλλοντικής αδειοδότησης και στη διεύθυνση Κ.Α.Π.Α. του ΥΠΕΝ, καθώς και στο τμήμα Περιβάλλοντος & Υδροοικονομίας της οικείας ΠΕ. Ο σταθμός Νο. 143, μετράει ατμοσφαιρικά αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του αζώτου- οξείδια του αζώτου, αμμωνία, όζον ( $PM_{10}$ ,  $NO_2$ - $NO$ - $NH_3$ - $O_3$ ). Ο φορέας λειτουργίας είναι ο Ερευνητικός σταθμός Πολυτεχνείου Κρήτης, της σχολής Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος και οι μετρήσεις λαμβάνονται άμεσα από λογισμικό οργάνων μέτρησης.

Σύμφωνα με τις «ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΚΘΕΣΕΙΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ από το έτος 2015 και έως τη νεότερη μέχρι σήμερα δημοσιευμένη έκθεση του έτους 2022» του ΥΠΕΝ

(ΥΠΕΝ, 2021), επιπλέον της εκτίμησης της ποιότητας του αέρα που βασίζεται στο Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης, έχει πραγματοποιηθεί και εκτίμηση της ποιότητας του αέρα για όλη τη χώρα. Σε αυτές τις εκθέσεις έχει συμπεριληφθεί και ένας σταθμός μέτρησης στα Χανιά (Εικόνα 6). Το έργο της παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα σε όλη τη χώρα έχει υλοποιηθεί στο πλαίσιο 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 (Εταιρικό Σύμφωνο Περιφερειακής Ανάπτυξης). Η χαρτογραφική απεικόνιση έχει στηριχθεί σε ενδεικτικές μετρήσεις σε θέσεις πέραν των σταθερών μετρήσεων του ΕΔΠΑΡ, αλλά και για επιπλέον ρύπους από τους μετρούμενους σε θέσεις του ΕΔΠΑΡ.

Ο προαναφερόμενος σταθμός των Χανίων, ο οποίος έχει συμπεριληφθεί στο ΕΔΠΑΡ και στις ετήσιες εκθέσεις του ΥΠΕΝ, θεωρείται σημαντικός για την παρούσα εργασία, καθώς βρίσκεται σε πολύ κοντινές αποστάσεις από τα σημεία μετρήσεων, δηλαδή στην περιοχή της Χαλέπας (ΕΛΜΕΠΑ) και στην περιοχή των Κουνουπιδιανών (Πολυτεχνείο της Κρήτης). Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6, ο σταθμός με τον αύξοντα αριθμό 143 (Εκπαιδευτικά & Ερευνητικά Ιδρύματα), χωροθετείται στο Πολυτεχνείο Κρήτης, σε υψόμετρο 137 m και πρόκειται για τον ίδιο σταθμό που έχει συμπεριληφθεί στην παρούσα εργασία. Οι ρύποι που καταγράφονται στο σταθμό αυτό, είναι τα αιωρούμενα σωματίδια PM<sub>10</sub> και PM<sub>2,5</sub> το τροποσφαιρικό όζον (O<sub>3</sub>), ενώ λειτουργεί και ως βάση μετεωρολογικών δεδομένων μετρώντας τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία, τη διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου, την ηλιοφάνεια και το ύψος των βροχοπτώσεων (ΥΠΕΝ, 2021).

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**  
**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

**5.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από τον επιβλέποντα εκπαιδευτικό Δρ. Ηλία Κοπανάκη και έχουν παραχωρηθεί ευγενικά σε συνεργασία με το Εργαστήριο Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων της Σχολής Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης για την ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων των PM<sub>10</sub> σωματιδίων κατά την παρούσα πτυχιακή εργασία. Οι μετρήσεις έχουν διενεργηθεί στις εγκαταστάσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης στην περιοχή Κουνουπιδιανά Χανίων, εντός της Πολυτεχνειούπολης, και συγκεκριμένα σε σταθμό, ο οποίος ιδρύθηκε το 2002 και ανήκει στο Εργαστήριο Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων της Σχολής Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, από τις 11 Μαρτίου 2016 έως τις 15 Απριλίου 2016. Μετρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί επίσης και στις εγκαταστάσεις του Παραρτήματος Χανίων του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου Κρήτης (ΕΛΜΕΠΑ) σε συνεργασία με το Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Τεχνολογιών και Εφαρμογών του Τμήματος Ηλεκτρονικών Μηχανικών, επισπεύδον Τμήμα του πρώην Τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Τ.Ε., της Σχολής Μηχανικών στην περιοχή Χαλέπα Χανίων, από τις 15 Δεκεμβρίου 2015 έως τις 15 Απριλίου 2016.

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν διάφορα όργανα, τα οποία αναφέρονται αναλυτικά παρακάτω. Συγκεκριμένα, μετρήθηκαν τα εισπνεύσιμα αιωρούμενα ατμοσφαιρικά σωματίδια PM<sub>10</sub>, των οποίων η συγκέντρωση υπολογίστηκε σε μονάδα μέτρησης  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Η διάρκεια χρόνου δειγματοληψίας ήταν 24 ώρες, με τις μετρήσεις να ξεκινούν στις 10 π.μ. το πρωί και να ολοκληρώνονται στις 10 π.μ. το επόμενο πρωί.

Στον πίσω εσωτερικό προαύλιο χώρο του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου Κρήτης στην περιοχή Χαλέπα χρησιμοποιήθηκε για τις δειγματοληψίες των αιωρούμενων σωματιδίων το όργανο Sequential sampler. Στον προαύλιο χώρο του σταθμού μέτρησης του Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων στο Πολυτεχνείο Κρήτης χρησιμοποιήθηκε για τις δειγματοληψίες κυρίως το όργανο Eberline FH 62 I-R. Συμπληρωματικά ως βοηθητικό όργανο χρησιμοποιήθηκε επίσης ο δειγματολήπτης

Andersen impactor (Κοπανάκης, Η., 2015). Όσον αφορά στην εύρεση των οπισθοποριών των αερίων μαζών χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο HYSPLIT (HYSPLIT, 1970).

Τα φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν για την σταθμική μέτρηση της μάζας των σωματιδίων ήταν αδρανή στα ατμοσφαιρικά αέρια και σωματίδια, στις συγκεντρώσεις και τις συνθήκες του περιβάλλοντος της περιοχής δειγματοληψίας. Χρησιμοποιήθηκαν κατά περίπτωση, είτε φίλτρα από ίνες χαλαζία (QFF – Quartz Fiber Filter) ή ίνες υάλου (GFF – Glass FiberFilter), είτε από Teflon (PTFE). Το σύνολο των φίλτρων αυτών παρουσιάζει υψηλή απόδοση στη συλλογή των αιωρούμενων ατμοσφαιρικών σωματιδίων. Πριν την δειγματοληψία δεν έγινε καμία επεξεργασία των φίλτρων, ενώ σε ένα ποσοστό 10 % περίπου των συλλεγομένων φίλτρων, για το σύνολο των διαφόρων δειγματοληψιών που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, αναλύθηκαν τυφλά δείγματα (blanks), προκειμένου να εκτιμηθούν και εν συνεχεία να αφαιρεθούν τα επίπεδα των διαφόρων χημικών ρυπαντών στο καθαρό φίλτρο (Κοπανάκης, Η., 2015).

## **5.2. ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ**

### ***5.2.1. Δειγματολήπτης Andersen Impactor***

Ο δειγματολήπτης Andersen impactor 8-stages (Εικόνα 7), είναι όργανο 8 σταδίων, το οποίο μετράει τα αιωρούμενα σωματίδια και συγκεκριμένα τη συγκέντρωση της μάζας τους με πρόσκρουση σε φίλτρα. Η λειτουργία αυτού του δειγματολήπτη βασίζεται στη σταθμική (gravimetric) μέτρηση της μάζας των σωματιδίων που συλλέγονται πάνω σε φίλτρα, με τη βοήθεια ζυγού ακριβείας 5 δεκαδικών (Κοπανάκης, Η., 2015).



Εικόνα 7: Δειγματολήπτης πρόσκρουσης σωματιδίων Andersen 8 - stages

Το μεγάλο πλεονέκτημα του δειγματολήπτη πρόσκρουσης σωματιδίων Andersen impactor, είναι ότι μπορεί να μετράει με ακρίβεια ατμοσφαιρικά αερολύματα (υγρά και στερεά σωματίδια). Είναι εύκολο στη χρήση, στη μεταφορά και στη βαθμονόμηση. Επίσης, τα φίλτρα στη συνέχεια μπορούν να οδηγηθούν προς χημική ανάλυση. Η μέθοδος, χρησιμοποιείται για την κλασματοποίηση των αιωρούμενων σωματιδίων, ανάλογα με την αεροδυναμική τους διάμετρο (Κοπανάκης, Η., 2015).

Βάρος σωματιδιακής ύλης ίσο με 10 mg σε οποιοδήποτε από τα στάδια του δειγματολήπτη είναι κατά προσέγγιση το άνω όριο για της δειγματοληψίες που μπορεί να πραγματοποιήσει ο δειγματολήπτης αυτός (Κοπανάκης, Η., 2015).

Σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σωματιδίων παρατηρείται ότι τα συλλεχθέντα στα φίλτρα σωματίδια, συμπαρασύρονται και οδηγούνται προς την έξοδο του δειγματολήπτη, από το ρεύμα αέρα. Ως εκ τούτου μία δειγματοληψία περίπου 24 ωρών, οπότε και διέρχεται όγκος αέρα ίσος με εκείνον που περίπου χρειάζεται ένας ενήλικας άνθρωπος για την αναπνοή του το 24-ωρο, είναι ο ενδεδειγμένος χρόνος δειγματοληψίας (Κοπανάκης, Η., 2015).

Πριν την έναρξη της δειγματοληψίας καθαρίστηκαν σχολαστικά οι πλάκες, ενώ τα φίλτρα ζυγίστηκαν υπό φυσιολογικές συνθήκες γραφείου (25 °C, αποφυγή υψηλής σχετικής υγρασίας του αέρα κτλ.) και διατηρήθηκαν σε ξηραντήρα για την αποφυγή επιμόλυνσης τους από μόρια νερού ή άλλες χημικές ουσίες, έως την ώρα της ζύγισης. Τα φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν για την σταθμική μέτρηση της μάζας των σωματιδίων ήταν αδρανή στα ατμοσφαιρικά αέρια και σωματίδια, στις συγκεντρώσεις και τις συνθήκες του περιβάλλοντος της περιοχής δειγματοληψίας. Χρησιμοποιήθηκαν κατά περίπτωση, είτε φίλτρα από ίνες χαλαζία (QFF – Quartz Fiber Filter) ή ίνες υάλου (GFF – Glass FiberFilter), είτε από Teflon

(PTFE). Το σύνολο των φίλτρων αυτών παρουσιάζει υψηλή απόδοση στη συλλογή των αιωρούμενων ατμοσφαιρικών σωματιδίων (Κοπανάκης, Η., 2015).

Ο δειγματολήπτης πρόσκρουσης Andersen, παρουσιάζει 8 στάδια-φίλτρα με διαφορετικές διαμέτρους. Η συλλογή των αερολύματος γίνεται σε 8 στάδια (stages) με βάση την αεροδυναμική διάμετρο των σωματιδίων. Όσο μικρότερο είναι το σωματίδιο, τόσο βαθύτερα εισέρχεται στον δειγματολήπτη (κατ' αντιστοιχία με τον ανθρώπινο πνεύμονα). Στον παρακάτω Πίνακα 2 φαίνονται τα κάτω όρια της αεροδυναμικής διαμέτρου των σωματιδίων που συλλέγονται σε κάθε ένα από τα 8 στάδια (Κοπανάκης, Η., 2015).

Πίνακας 2: Διάμετροι των διαφορετικών σταδίων του δειγματολήπτη πρόσκρουσης Andersen

No. of Stage	Ελάχιστη αεροδυναμική διάμετρος ( $\mu\text{m}$ )
Stage 0	9,0
Stage 1	5,8
Stage 2	4,7
Stage 3	3,3
Stage 4	2,1
Stage 5	1,1
Stage 6	0,7
Stage 7	0,4

Τα σωματίδια με διάμετρο κάτω των 0,4  $\mu\text{m}$  συλλέγονται σε ένα φίλτρο που είναι τοποθετημένο στην εσωτερική πλευρά της βάσης του δειγματολήπτη (back up filter) Στο κάτω μέρος του οργάνου, δηλαδή μετά το 8ο φίλτρο, μπορεί να τοποθετηθεί ένα επιπλέον φίλτρο (back up filter) για τη συλλογή της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης. Ο δειγματολήπτης προσομοιάζει το ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα, με τα 8 στάδια συλλογής της αιωρούμενης ύλης, να αντιστοιχούν στα ανθρώπινα όργανα του αναπνευστικού συστήματος που συναντούν τα εισερχόμενα σωματίδια από τη ρινική κοιλότητα μέχρι τις κυψελίδες του πνεύμονα. Οι οπές στις πλάκες-υποδοχείς των φίλτρων



έχουν στρογγυλευθεί και διευθετηθεί έτσι ώστε να αποφεύγεται η τυρβώδης ροή. Όταν στο χώρο δειγματοληψίας υπάρχουν σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μεγαλύτερη των 10 μm θα πρέπει να χρησιμοποιείται ο προ-διαχωριστήρας (preseparator) που συνοδεύει το όργανο, με το χαρακτηριστικό κωνικού σημείο εισόδου του δείγματος (Κοπανάκης, Η., 2015).

Ο ατμοσφαιρικός αέρας, εισέρχεται από την κορυφή του δειγματολήπτη, κινούμενος με τη δύναμη εξωτερικής αντλίας. Η ροή του δειγματολήπτη είναι σταθερή και ίση με 1 ACFM (cubic feet per minute) (=28,33 l/min = 1,7 m<sup>3</sup>/h). Η αντλία που συνοδεύει τον δειγματολήπτη δεν χρειάζεται λίπανση, αλλά θα πρέπει σε τακτά χρονικά διαστήματα να βαθμονομείται ώστε η ροή της να παραμένει σταθερή και ίση με 1 ACFM. Για καλύτερη και πιο αξιόπιστη μέτρηση μεταξύ του δειγματολήπτη και της αντλίας παρεμβάλλονταν μετρητής του όγκου του διερχόμενου αέρα. Επιπλέον, η τιμή αυτή διορθώνονταν σε πρότυπες συνθήκες θερμοκρασίας και ατμοσφαιρικής πίεσης. Η διόρθωση έγινε με βάση τον επόμενο τύπο:

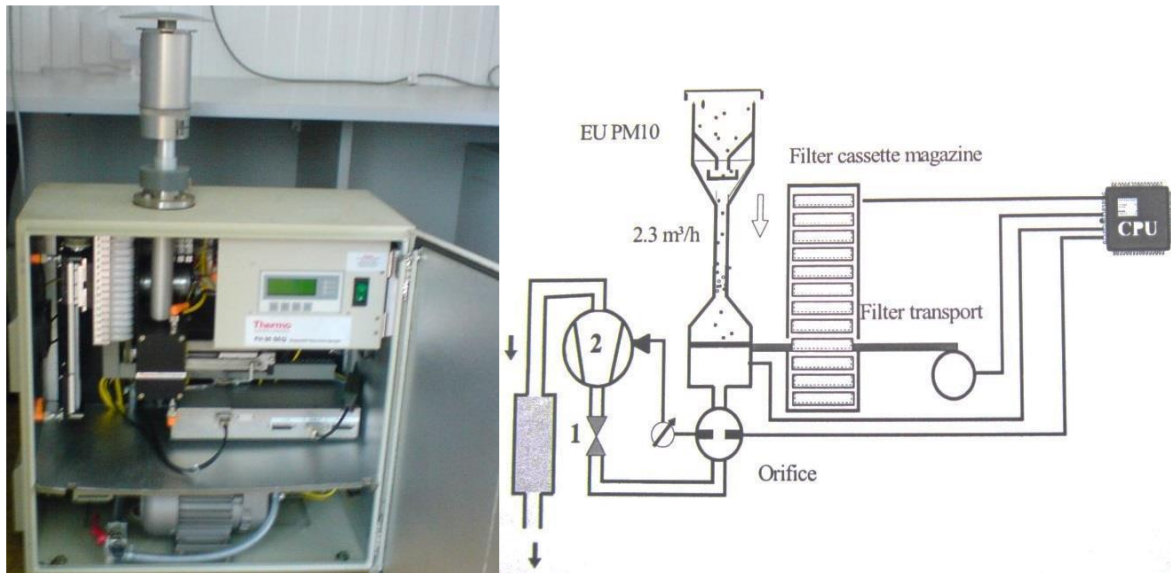
$$V_0 = V (P T_0 / P_0 T)$$

όπου V και V<sub>0</sub> ο όγκος του δείγματος πριν και μετά την κανονικοποίηση, P και T η μέσες τιμές ατμοσφαιρικής πίεσης και θερμοκρασίας στις συνθήκες της δειγματοληψίας, ενώ P<sub>0</sub> και T<sub>0</sub> οι πρότυπες τιμές πίεσης και θερμοκρασίας, αντίστοιχα (P<sub>0</sub> = 1 Atm=1013 mbar και T<sub>0</sub> = 25 °C) (Κοπανάκης, Η., 2015).

### **5.2.2. Δειγματολήπτης σταθμικού προσδιορισμού της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης PM<sub>10</sub> (Sequential sampler)**

Ο δειγματολήπτης Sequential sampler της εταιρείας Thermo αποτελεί δειγματολήπτη αυτόματης ή χειροκίνητης εναλλαγής φίλτρων (Sequential Particulate Sampler, FH 95 SEQ with EU-PM 10 LVS, sample inlet, 2.3 m<sup>3</sup>/h, Thermo, USA). Πρόκειται για δειγματολήπτη με ενσωματωμένη αντλία σταθερής ροής, ίσης με 2,3 m<sup>3</sup>/h ± 1 % (Πρότυπο EN12341 για σταθμική μέτρηση αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub>, CEN 1998). Ο διερχόμενος όγκος αέρα

διορθώνεται ως προς την θερμοκρασία και την ατμοσφαιρική πίεση. Στην οθόνη του οργάνου εμφανίζονται ο μετρούμενος όγκος και η διορθωμένη τιμή του. Στην Εικόνα 8 φαίνονται η μορφή του οργάνου στο εσωτερικό του, καθώς και ένα απλοποιημένο διάγραμμα ροής του αέρα και των βασικών μερών του οργάνου (Κοπανάκης, Η., 2015).



Εικόνα 8: Φωτογραφία του δειγματολήπτη Sequential sampler και σχηματικό διάγραμμα ροής με αναπαράσταση των τμημάτων του

Ο δειγματολήπτης είναι κατάλληλος για τη μέτρηση του κλάσματος  $PM_{10}$  της σωματιδιακής μάζας. Το όργανο διαθέτει κασετίνα 16 θέσεων, ενώ οι υποδοχές των φίλτρων είναι κατάλληλες για φίλτρα διαμέτρου 47 mm. Συνήθως με το όργανο αυτό πραγματοποιούνται 24-ωρες δειγματοληψίες, με δυνατότητα συνεχούς συλλογής σωματιδίων σε διαδοχικά διαφορετικά φίλτρα για πολλές ημέρες. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν φίλτρα διαφόρων ειδών, όπως για παράδειγμα φίλτρα από ίνες υάλου (GFF, Glass Fiber Filter) ή χαλαζία (QFF, Quartz Fiber Filter), φίλτρα Teflon (PTFE), φίλτρα κυτταρίνης κτλ.. Ο τύπος φίλτρου που θα επιλεγεί εξαρτάται κυρίως από τις χημικές αναλύσεις που πρόκειται να πραγματοποιηθούν στη συνέχεια (Κοπανάκης, Η., 2015).

**5.2.3. Όργανο συνεχούς καταγραφής της συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων (Eberline FH 62 I-R)**

Η συγκέντρωση της σωματιδιακής μάζας στην περιοχή Κουνουπιδιανά Χανίων (Πολυτεχνειούπολη) προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας τον δειγματολήπτη Eberline FH 62 I-R (FH 62 I-R Particulate Monitor, Eberline Instruments GmbH). Ο υπολογισμός της συγκέντρωσης της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων γίνεται μετρώντας την εξασθένιση της ακτινοβολίας β που εκπέμπεται από μια ραδιενεργό πηγή κατά τη διέλευσή της μέσα από την κηλίδα του φίλτρου εναπόθεσης των σωματιδίων. Την ακτινοβολία β (σωμάτια β) αποτελεί νέφος ηλεκτρονίων που κινείται με υψηλή ταχύτητα και το οποίο παράγεται από τον πυρήνα ενός ατόμου κατά την ραδιενεργή μετάπτωση του (radioactive decay). Παράλληλα μετράται ο όγκος του αέρα που διέρχεται του οργάνου, λαμβάνοντας υπόψη με τη βοήθεια αισθητήρων, τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος, του εσωτερικού του οργάνου και του ενδιάμεσου σωλήνα, ο οποίος θερμαίνεται σε ορισμένη θερμοκρασία προκειμένου να αποφευχθεί η είσοδος στο όργανο ατμοσφαιρικής υγρασίας (Κοπανάκης, Η., 2015).

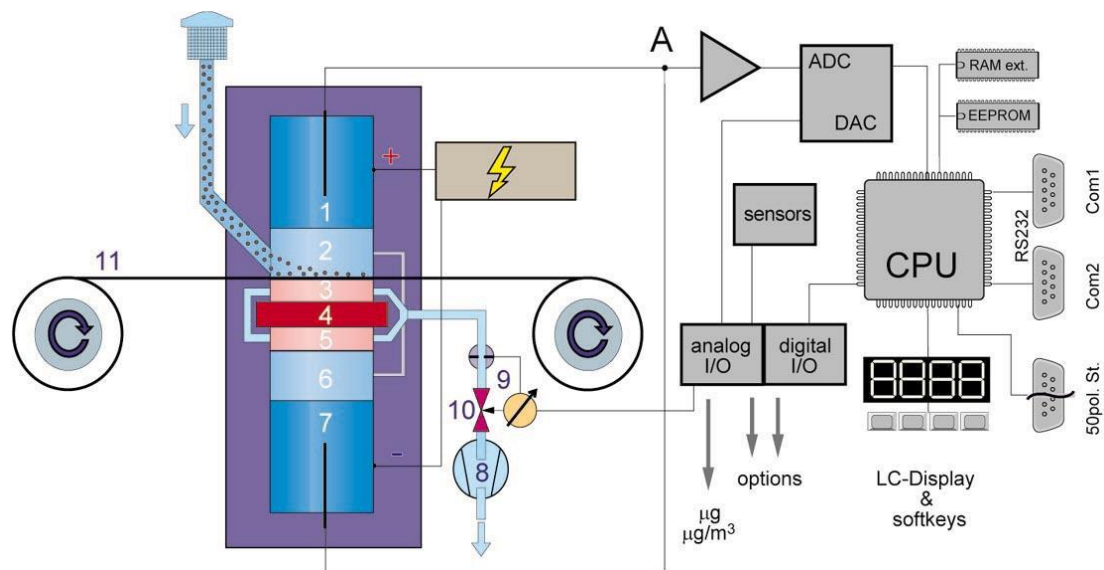
Το όργανο συνοδεύεται από τρεις διαφορετικές κεφαλές (TSP, PM<sub>10</sub> και PM<sub>2,5</sub>) και κατά περίπτωση χρησιμοποιείται η ενδεδειγμένη. Η συλλογή των σωματιδίων πραγματοποιήθηκε επάνω σε φίλτρο ινών υάλου (GFF) (Κοπανάκης, Η., 2015).

Το εύρος συγκεντρώσεων που μπορεί να καταγράψει η συσκευή κυμαίνεται από 0 έως 5.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  με διακριτική ικανότητα 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Οι τιμές συγκέντρωσης καταγράφονται κάθε πέντε ή δέκα πέντε λεπτά (ανάλογα με τις ανάγκες της μέτρησης). Τα δεδομένα 127 αρχικά καταγράφονται προσωρινά στη μνήμη ενός καταγραφέα δεδομένων (data logger) και από εκεί μέσω ειδικού προγράμματος αποθηκεύονται σε αναγνώσιμη μορφή πίνακα σε τερματικό ηλεκτρονικό υπολογιστή που είναι συνδεδεμένος με τον καταγραφέα δεδομένων. Η καταγραφή της συγκέντρωσης των σωματιδίων σε τόσο μικρά χρονικά διαστήματα επιτρέπει την παρατήρηση των διακυμάνσεων στη συγκέντρωση της ατμοσφαιρικής σωματιδιακής μάζας με απόλυτη ακρίβεια, ενώ τα δεδομένα αυτά μπορούν στη συνέχεια να συσχετιστούν με την παράλληλη διακύμανση άλλων ατμοσφαιρικών παραμέτρων (προέλευση αερίων μαζών, όζον, εκπομπές τοπικής κλίμακας, ταχύτητα ανέμου κτλ.) (Κοπανάκης, Η., 2015).

Μια μονάδα FH 62 I-R, αποτελείται από τα ακόλουθα τέσσερα βασικά τμήματα:

- 1) την κεντρική μονάδα
- 2) το σύστημα δειγματοληψίας
- 3) την αντλία
- 4) τη μονάδα καταγραφής

Η αρχή λειτουργίας του οργάνου φαίνεται σχηματικά στην παρακάτω Εικόνα 5.3.



Εικόνα 9: Αρχή λειτουργίας του οργάνου μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων Eberline FH 62 I-R

Στην παραπάνω Εικόνα 9 παρατηρούνται τα βασικά μέρη του οργάνου, τα οποία παρουσιάζονται αριθμημένα ως εξής (Κοπανάκης, Η., 2015):

- (1) Θάλαμος μέτρησης ιονισμού,
- (2) Θάλαμος I συλλογής σωματιδίων και μέτρησης,
- (3) Θάλαμος II κενού,
- (4) Πηγή β ακτινοβολίας Kr-85,
- (5) Θάλαμος αντιστάθμισης II,
- (6) Θάλαμος αντιστάθμισης I,
- (7) Θάλαμος αντιστάθμισης ιονισμού
- (11) η περιστρεφόμενη φίλτρο ταινία συλλογής της σωματιδιακής ύλης

Ο αέρας του περιβάλλοντος αναρροφάται από το σύστημα δειγματοληψίας. Τα σωματίδια σκόνης που περιέχονται στον αέρα εναποτίθενται στο φίλτρο. Η ταινία περιστρέφεται όταν η κηλίδα αποκτήσει το μέγιστο φορτίο που έχουμε ορίσει (συνήθως 1.500 µg) ή να ξεπεραστεί κάποια από τις παραμέτρους αλλαγής του φίλτρου (χρόνος ημέρας, προεπιλεγμένος χρόνος δειγματοληψίας, παροχή αέρα). Μετά από κάθε αλλαγή φίλτρου πραγματοποιείται αυτόματα μια ρύθμιση μηδενισμού (Κοπανάκης, Η., 2015).

### **5.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ**

#### ***5.3.1 Μοντέλο HYSPLIT***

Η πορεία των αέριων μαζών κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στο σταθμό μέτρησης του Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων στο Πολυτεχνείο Κρήτης αναλύθηκε μέσω του προγράμματος HYSPLIT (READY HYSPLIT) (HYSPLIT, 1970). Ανακτήθηκαν οι οπισθοπορίες των αέριων μαζών (back trajectories). Με αυτό τον τρόπο διαφαίνεται η πορεία, η οποία αποτυπώνεται ως διαδρομή που ακολούθησαν οι αέριες μάζες.

Τα μοντέλα του προγράμματος HYSPLIT προσομοιώνουν τη διασπορά και την τροχιά των ουσιών που μεταφέρονται και διασκορπίζονται στη γήινη ατμόσφαιρά, σε τοπική έως παγκόσμια κλίμακα. Το πρόγραμμα HYSPLIT είναι ένα πλήρες σύστημα υπολογισμού τροχιών απλών δειγμάτων αέρα, καθώς και πολύπλοκων προσομοιώσεων μεταφοράς, διασποράς, χημικού μετασχηματισμού και εναπόθεσης. Το HYSPLIT συνεχίζει να είναι ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα μοντέλα ατμοσφαιρικής μεταφοράς και διασποράς στην κοινότητα των ατμοσφαιρικών επιστημών. Μια κοινή εφαρμογή είναι μια ανάλυση πίσω τροχιάς για τον προσδιορισμό της προέλευσης των μαζών αέρα και τη δημιουργία σχέσεων πηγής-υποδοχέα (οπισθοπορία) (HYSPLIT, 1970).

Το πρόγραμμα HYSPLIT έχει επίσης χρησιμοποιηθεί σε μια ποικιλία προσομοιώσεων που περιγράφουν την ατμοσφαιρική μεταφορά, διασπορά και εναπόθεση ρύπων και επικινδύνων υλικών. Μερικά παραδείγματα των εφαρμογών περιλαμβάνουν παρακολούθηση και πρόβλεψη απελευθέρωσης ραδιενεργού υλικού, καπνού από πυρκαγιές, σκόνης από τον άνεμο, ρύπων από διάφορες σταθερές και κινητές πηγές εκπομπών, αλλεργιογόνων και ηφαιστειακής τέφρας (HYSPLIT, 1970).

Η μέθοδος υπολογισμού του μοντέλου είναι ένα υβρίδιο μεταξύ της προσέγγισης Lagrangian, που χρησιμοποιεί ένα κινούμενο πλαίσιο αναφοράς για τους υπολογισμούς προσαγωγής και διάχυσης καθώς οι τροχιές ή τα δέματα αέρα μετακινούνται από την αρχική τους θέση, και της μεθοδολογίας Eulerian, η οποία χρησιμοποιεί ένα σταθερό τρισδιάστατο πλέγμα ως ένα πλαίσιο αναφοράς για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων ρύπων στον αέρα. (Το όνομα του μοντέλου, που δεν αποτελεί πλέον ακρωνύμιο, αρχικά αντικατόπτριζε αυτήν την υβριδική υπολογιστική προσέγγιση). Το μοντέλο HYSPLIT έχει εξελιχθεί για περισσότερα από 30 χρόνια, από την εκτίμηση απλοποιημένων μεμονωμένων τροχιών που βασίζονται σε παρατηρήσεις ραδιοβολίδων σε ένα σύστημα που υπολογίζει πολλούς αλληλεπιδρώντες ρύπους που μεταφέρονται, διασκορπίζονται και εναποτίθενται σε τοπική έως παγκόσμια κλίμακα (HYSPLIT, 1970).

#### Δυνατότητες του μοντέλου HYSPLIT

Στη συνέχεια αναφέρονται οι κυριότερες δυνατότητες του μοντέλου όσον αφορά στην εύρεση τροχιών, συγκεντρώσεων αέρα και στη μετεωρολογία (HYSPLIT, 1970)

#### Τροχιές

- Μονές ή πολλαπλές (χωρικές ή χρονικές) ταυτόχρονες τροχιές
- Προαιρετικό πλέγμα αρχικών θέσεων εκκίνησης
- Υπολογισμοί προς τα εμπρός ή προς τα πίσω στο χρόνο
- Προεπιλεγμένη κατακόρυφη κίνηση με χρήση πεδίου ωμέγα
- Άλλες επιλογές κίνησης: ισημερινική, ισοβαρική, ισοπυκνική
- Επιλογή συνόλου τροχιών χρησιμοποιώντας μετεωρολογικές παραλλαγές
- Έξοδος μετεωρολογικών μεταβλητών κατά μήκος μιας τροχιάς
- Ενσωματωμένη επιλογή ομαδοποίησης τροχιών

#### Συγκεντρώσεις αέρα

- Τρισδιάστατες απεικονίσεις διασποράς σωματιδίων (top-hat ή Gaussian)
- Στιγμιαίες ή συνεχείς εκπομπές, σημειακές ή τοπικές πηγές
- Πλέγματα εξόδου συγκέντρωσης πολλαπλής ανάλυσης

- Σταθερό πλέγμα συγκέντρωσης ή δυναμική δειγματοληψία
- Υγρή και ξηρή εναπόθεση, ραδιενεργή αποσύνθεση και επαναιώρηση
- Εκπομπή πολλαπλών ταυτόχρονων ειδών ρύπων
- Αυτοματοποιημένος υπολογισμός μήτρας πηγής-υποδοχέα
- Διασπορά συνόλου που βασίζεται σε παραλλαγές στη μετεωρολογία, τις αναταράξεις ή τη φυσική
- Έξοδος πιθανότητας συγκέντρωσης για πολλαπλές προσομοιώσεις
- Ενσωματωμένος αλγόριθμος εκπομπής σκόνης-καταιγίδα
- Ορισμός σταθερών ρυθμού για τη μετατροπή ενός είδους σε άλλο
- Η μάζα μπορεί να μετατραπεί σε μια μονάδα Eulerian για προσομοιώσεις παγκόσμιας κλίμακας

#### Μετεωρολογία

- Το μοντέλο μπορεί να εκτελεστεί με πολλαπλά ένθετα πλέγματα δεδομένων εισόδου
- Σύνδεσμοι σε διακομιστή μετεωρολογικών δεδομένων ARL και NWS
- Πρόσβαση σε προβλέψεις και αρχεία, συμπεριλαμβανομένης της εκ νέου ανάλυσης NCAR/NCEP
- Πρόσθετο λογισμικό για τη μετατροπή MM5, RAMS, COAMPS, WRF και άλλων δεδομένων
- Βοηθητικά προγράμματα για την εμφάνιση και τον χειρισμό μετεωρολογικών δεδομένων

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**  
**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

**6.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ**

**6.1.1 Μετρήσεις συγκεντρώσεων  $PM_{10}$ , ύψους βροχής και θερμοκρασίας**

Όπως προαναφέρθηκε, οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στις εγκαταστάσεις του Παραρτήματος Χανίων του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου Κρήτης σε συνεργασία με το Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Τεχνολογιών και Εφαρμογών του Τμήματος Ηλεκτρονικών Μηχανικών, επισπεύδον Τμήμα του πρώην Τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Τ.Ε., διήρκησαν 4 μήνες και συγκεκριμένα ξεκίνησαν την 15<sup>η</sup> Δεκεμβρίου 2015 και έως την 15<sup>η</sup> Απριλίου 2016. Συγκεκριμένα μετρήθηκαν τα εισπνεύσιμα αιωρούμενα ατμοσφαιρικά σωματίδια  $PM_{10}$ , των οποίων η συγκέντρωση υπολογίστηκε με μονάδα μέτρησης  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Όπως προαναφέρθηκε, οι μετρήσεις αυτές ήταν καθημερινές και είχαν διάρκεια χρόνου ολοκλήρωσης 24 ώρες. Συγκεκριμένα, ξεκινούσαν από τις 10 το πρωί της μίας μέρας, έως τις 10 το πρωί της επόμενης και αυτός είναι ο λόγος, όπου στους παρακάτω Πίνακες αναγράφονται δύο (2) ημερομηνίες (έναρξη – λήξη).

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο σταθμό μέτρησης του Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων της Σχολής Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, διήρκησαν περίπου 1 μήνα και συγκεκριμένα ξεκίνησαν την 11<sup>η</sup> Μαρτίου 2016 έως την 15<sup>η</sup> Απριλίου 2016. Ο χρόνος δειγματοληψίας των καθημερινών μετρήσεων είχε επίσης διάρκεια 24 ωρών.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω Πίνακα 3. Παράλληλα με τις μέσες 24-ωρες τιμές των μετρήσεων των αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{10}$ , για τις μέρες δειγματοληψίας, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις της μέσης θερμοκρασίας (T) του εκάστοτε 24ωρου σε βαθμούς Κελσίου ( $^{\circ}\text{C}$ ), αλλά και του ύψους βροχής (rain) που σημειώθηκε το διάστημα του εκάστοτε 24ωρου σε χιλιοστά (mm). Σημειώνεται, πως στους δύο σταθμούς χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά όργανα για την



*"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων PM<sub>10</sub> στην πόλη των Χανίων"*

*Καραβά Στυλιανή*

πραγματοποίηση των μετρήσεων, συνεπώς οι όποιες διαφορές παρατηρούνται στα αποτελέσματα των τιμών, εν μέρει μπορεί να οφείλονται και σε αυτό το λόγο.

Πίνακας 3: Μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων, ύψους βροχής και θερμοκρασίας από το σταθμό μέτρησης στο ΕΛΜΕΠΑ στην περιοχή Χαλέπα Χανίων

<b>α/α</b>	<b>Έναρξη-Λήξη</b>	<b>PM<sub>10</sub> (μg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ύψος βροχής (mm)</b>	<b>T (°C)</b>
1	15-16/12/15	26,99	0	13,4
2	16-17/12/15	13,59	0	12,2
3	17-18/12/15	33,59	9	12,1
4	18-19/12/15	22,83	5,4	11,3
5	19-20/12/15	24,09	0	11,7
6	20-21/12/15	27,17	0	12,6
7	21-22/12/15	22,46	0	13,2
8	22-23/12/15	22,70	0	11,8
9	23-24/12/15	34,56	0	12,5
10	24-25/12/15	19,93	0	13,5
11	25-26/12/15	21,92	0	13,6
12	26-27/12/15	21,38	0	13,2
13	27-28/12/15	29,17	0	13,0
14	28-29/12/15	29,89	1	13,1
15	29-30/12/15	25,18	0,2	13,3
16	30-31/12/15	15,94	5,8	11,9
17	31-01/01/16	18,66	6,2	5,4
18	01-02/01/16	21,38	0,2	5,9

*"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων PM<sub>10</sub> στην πόλη των Χανίων"*

*Καραβά Στυλιανή*

19	02-03/01/16	14,86	2,8	8,3
20	03-04/01/16	13,59	0	13,5
21	04-05/01/16	19,63	2,6	15,3
22	05-06/01/16	17,57	0	17,8
23	06-07/01/16	20,70	0	18,2
24	07-08/01/16	21,01	7,2	14,9
25	08-09/01/16	13,22	0	14,6
26	09-10/01/16	21,38	0	15,2
27	10-11/01/16	23,55	0	15,1
28	11-12/01/16	21,33	0	16,3
29	12-13/01/16	24,45	0	18,0
30	13-14/01/16	20,47	0	15,9
31	14-15/01/16	14,31	0	13,5
32	15-16/01/16	16,30	0	13,7
33	16-17/01/16	30,98	0	14,6
34	17-18/01/16	10,30	4,2	11,0
35	18-19/01/16	15,35	13,6	8,0
36	19-20/01/16	14,37	1,8	8,0
37	20-21/01/16	12,68	3,4	11,4
38	21-22/01/16	21,92	2,6	9,8
39	22-23/01/16	15,58	0,2	10,5
40	23-24/01/16	21,01	1,2	7,4
41	24-25/01/16	19,57	0	7,5
42	25-26/01/16	24,88	4,8	6,4

*"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων PM<sub>10</sub> στην πόλη των Χανίων"*

*Καραβά Στυλιανή*

43	26-27/01/16	17,78	0,6	9,7
44	27-28/01/16	25,63	0,2	9,5
45	28-29/01/16	21,38	0	13,1
46	29-30/01/16	19,20	0	14,2
47	30-31/01/16	27,17	0	14,0
48	31-01/02/16	18,30	0	13,3
49	01-02/02/16	29,89	0	14,5
50	02-03/02/16	19,93	0	14,5
51	03-04/02/16	21,71	0	14,9
52	04-05/02/16	20,65	0	13,8
53	05-06/02/16	16,85	19,4	10,7
54	06-07/02/16	21,30	0,6	7,9
55	07-08/02/16	22,50	0	9,0
56	08-09/02/16	25,54	0	9,6
57	09-10/02/16	20,29	0	11,6
58	10-11/02/16	21,20	0	13,8
59	11-12/02/16	19,93	0	16,2
60	12-13/02/16	24,82	0	16,6
61	13-14/02/16	22,46	0	17,5
62	14-15/02/16	26,61	0	19,8
63	15-16/02/16	15,40	0	22,4
64	16-17/02/16	21,38	0	20,4
65	17-18/02/16	26,63	0	16,4
66	18-19/02/16	52,90	0	17,6

*"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων PM<sub>10</sub> στην πόλη των Χανίων"*

*Καραβά Στυλιανή*

67	19-20/02/16	31,34	0	16,5
68	20-21/02/16	19,20	0,8	14,7
69	21-22/02/16	21,01	0,4	13,2
70	22-23/02/16	16,12	0	14,9
71	23-24/02/16	24,46	0	15,3
72	24-25/02/16	27,54	0	14,8
73	25-26/02/16	22,73	0,4	15,0
74	26-27/02/16	32,43	0,2	14,1
75	27-28/02/16	45,65	0	15,1
76	28-29/02/16	37,14	0	14,6
77	29-01/03/16	52,17	0	19,0
78	01-02/03/16	49,64	0	16,2
79	02-03/03/16	18,12	0	14,7
80	03-04/03/16	17,57	1	15,0
81	04-05/03/16	19,57	10,4	12,8
82	05-06/03/16	19,75	0	13,7
83	06-07/03/16	21,55	0	13,9
84	07-08/03/16	24,64	0	16,2
85	08-09/03/16	49,25	0	15,9
86	09-10/03/16	19,75	0	14,5
87	10-11/03/16	21,01	1	13,9
88	11-12/03/16	19,38	0	15,0
89	12-13/03/16	85,87	0	12,1
90	13-14/03/16	36,78	9,4	12,5

*"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων PM<sub>10</sub> στην πόλη των Χανίων"*

*Καραβά Στυλιανή*

91	14-15/03/16	18,66	4	11,8
92	15-16/03/16	27,70	0	11,6
93	16-17/03/16	13,59	0	11,7
94	17-18/03/16	16,85	0	10,7
95	18-19/03/16	25,72	0	12,6
96	19-20/03/16	18,48	0	14,3
97	20-21/03/16	21,16	0	14,7
98	21-22/03/16	15,79	0	14,9
99	22-23/03/16	25,00	0	17,9
100	23-24/03/16	546,68	0	20,0
101	24-25/03/16	31,05	0	17,3
102	25-26/03/16	22,10	0	16,2
103	26-27/03/16	15,40	0,4	12,7
104	27-28/03/16	12,68	10	12,3
105	28-29/03/16	14,05	0,2	12,5
106	29-30/03/16	16,20	0	15,4
107	30-31/03/16	20,42	0	15,8
108	31-01/04/16	17,93	0,2	16,3
109	01-02/04/16	15,94	0	16,1
110	02-03/04/16	23,30	0,4	16,4
111	03-04/04/16	21,70	0,2	15,5
112	04-05/04/16	28,99	0,2	16,9
113	05-06/04/16	25,18	0	17,4
114	06-07/04/16	23,33	0	19,0

*"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων PM<sub>10</sub> στην πόλη των Χανίων"*

*Καραβά Στυλιανή*

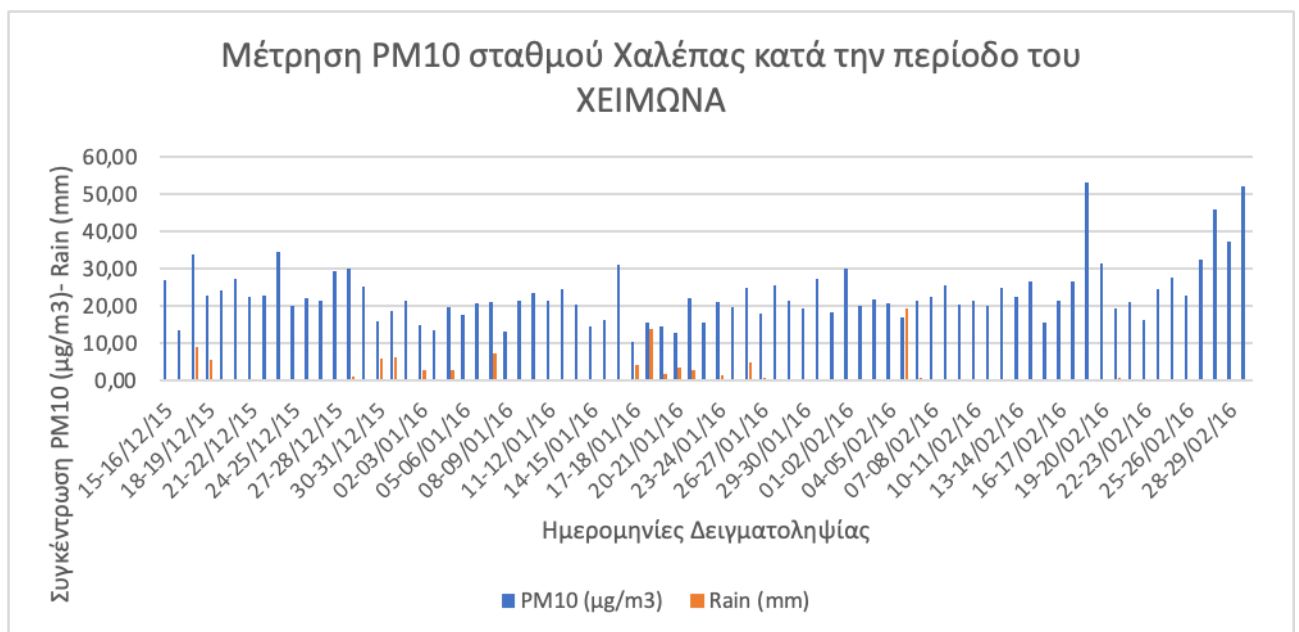
115	07-08/04/16	47,62	0	19,2
116	08-09/04/16	49,64	0	20,6
117	09-10/04/16	38,70	0	17,9
118	10-11/04/16	20,10	0,4	17,8
119	11-12/04-16	29,92	1,2	16,5
120	12-13/04/16	18,12	0	18,2
121	13-14/04/16	16,85	0	19,9
122	14-15/04/16	54,35	0	22,0
	<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ (Μ.Ο.)</b>	<b>28,4</b>	<b>1,1</b>	<b>14,1</b>
	<b>ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ</b>	<b>48,5</b>	<b>2,9</b>	<b>3,3</b>

Στο τέλος του πίνακα σημειώνονται τα αποτελέσματα ο μέσος όρος (Μ.Ο.), από τον οποίο μπορούμε να έχουμε μια μέση τιμή και μια άποψη στο τι συμβαίνει σαν γενικό συμπέρασμα. Επίσης παρουσιάζεται η μέση τυπική απόκλιση, η οποία παρουσιάζεται με τον αριθμό στρογγυλοποιημένη σε 1 δεκαδικό ψηφίο. Με ροζ χρώμα σημειώνεται η μέρα με τη μεγαλύτερη (maximum) συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων, ενώ με μπλε χρώμα σημειώνεται η μέρα με τη μικρότερη συγκέντρωση (minimum) αντίστοιχα καθ' όλη την περίοδο των μετρήσεων.

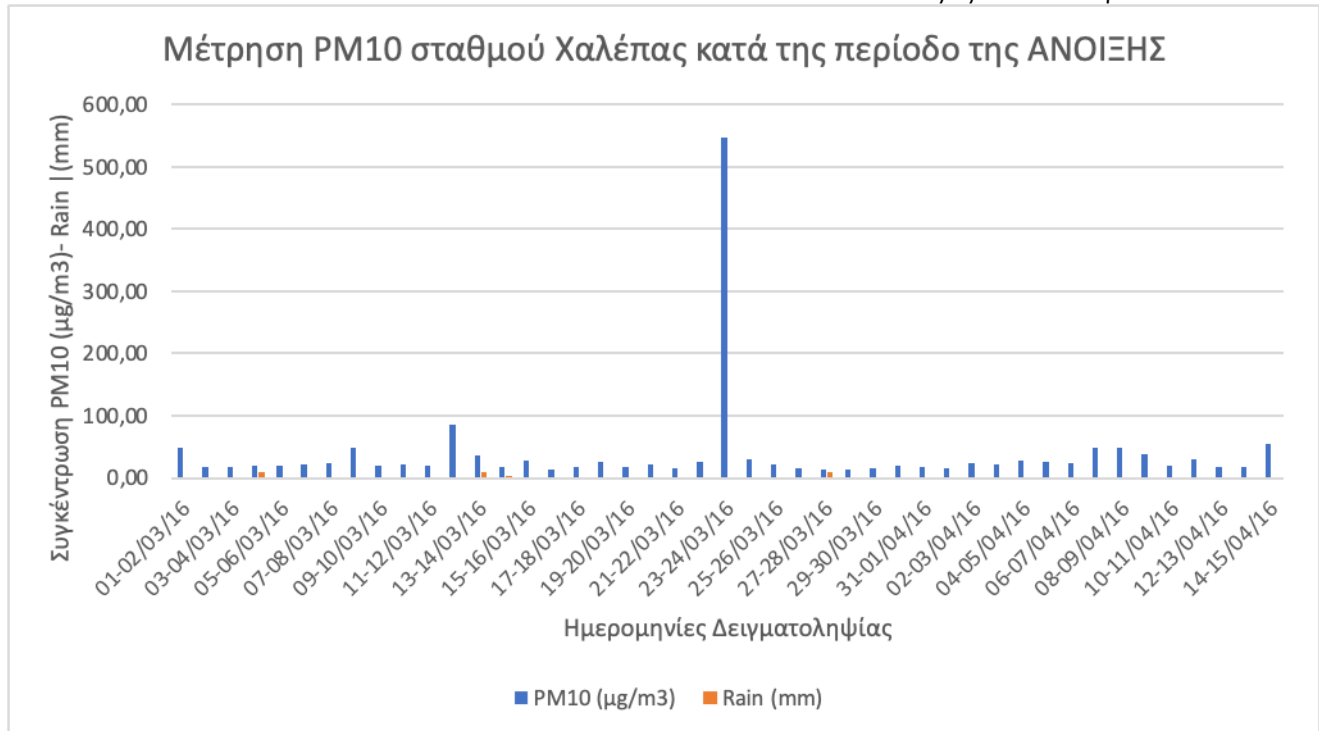
Όπως φαίνεται καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων στο σταθμό μέτρησης στο ΕΛΜΕΠΑ στην περιοχή Χαλέπα Χανίων, η μέση 24-ωρη τιμή των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> ήταν  $28,4 \pm 48,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , το μέσο ύψος βροχής  $1,1 \pm 2,9 \text{ mm}$ , ενώ η μέση θερμοκρασία μετρήθηκε  $14,1 \pm 3,3 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Μεγάλη υπέρβαση των μέσων 24-ωρων τιμών των  $PM_{10}$  παρατηρήθηκαν στις 23-24/03/16 ( $546,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) και 12-13/03/16 ( $85,87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Αντίθετα η χαμηλότερη μέση 24-ωρη τιμή των  $PM_{10}$  μετρήθηκε στις 17-18/01/16 ( $10,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται στις Εικόνες 10 και 11 τα αποτελέσματα των μετρήσεων των μέσων 24-ωρων τιμών των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{10}$  και του ύψους βροχής ανά εποχή (χειμώνας – άνοιξη).



Εικόνα 10: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{10}$  και μέτρηση ύψους βροχής (rain) κατά την περίοδο των χειμερινών μηνών



Εικόνα 11: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{10}$  και μέτρηση ύψους βροχής (rain) κατά την περίοδο των ανοιξιάτικων μηνών

Στις Εικόνες 10 και 11 παραπάνω παρατηρούνται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις των μηνών του χειμώνα και της άνοιξης και παρουσιάζεται η διακύμανση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων ανά μέρα μέτρησης. Οι ράβδοι με μπλε χρώμα παρουσιάζουν τις μέσες 24-ωρες τιμές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{10}$ , ενώ οι ράβδοι με πορτοκαλί χρώμα παρουσιάζουν τα ύψη βροχής, όπου υπήρχαν έτσι ώστε να ληφθεί υπόψη ως παράγοντας. Από το διάγραμμα της άνοιξης αλλά και του χειμώνα διαφαίνεται, πως τις ημέρες που έβρεξε, είτε λίγο πριν είτε λίγο μετά, οι συγκεντρώσεις παρέμεναν σε χαμηλά επίπεδα μετρήσεων, χωρίς να ξεπερνούν κατά μέσο όρο τη συγκέντρωση των  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Βέβαια ορισμένες μέρες, ιδιαίτερα κατά τους ανοιξιάτικους μήνες, μετρήθηκαν πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{10}$  σε σχέση με τον μέσο όρο των υπόλοιπων ημερών, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ιδιαίτερα η τυπική απόκλιση των τιμών και να είναι σχεδόν διπλάσια της μέσης τιμής ( $28,4 \pm 48,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Αυτό οφείλεται στην αερομεταφερόμενη σκόνη από την έρημο ή γενικότερα από την Αφρική, καθώς είναι ένα σύνθητες φαινόμενο για τις περιοχές της Μεσογείου ιδιαίτερα. Βέβαια αξίζει να σημειωθεί,



πως την άνοιξη το φαινόμενο της αυξητικής τάσης στις μετρήσεις συγκεντρώσεων είναι μεγαλύτερο σε σχέση με τον χειμώνα, και αυτό πιθανότατα οφείλεται είτε στις υψηλότερες θερμοκρασίες που αρχίζουν να αναπτύσσονται την άνοιξη, είτε και σε συνδυασμό με τις βροχοπτώσεις που σημειώνονται συχνότερα τους χειμερινούς μήνες. Κατά την περίοδο του χειμώνα τα κατακρημνίσματα όπως η βροχή, συμπαρασύρουν στο έδαφος τα αιωρούμενα σωματίδια, με αποτέλεσμα να παραμένουν λιγότερο στην ατμόσφαιρα. Παρ' όλα αυτά, το χειμώνα παρατηρείται πως δεν μειώνονται ιδιαίτερα οι τιμές των συγκεντρώσεων, παρ' όλο που η παρουσία των βροχοπτώσεων είναι έντονη ορισμένες ημέρες και η θερμοκρασία κατεβαίνει και αυτό οφείλεται στα σωματίδια που εκπέμπονται από τζάκια, από καυστήρες πετρελαίου κ.α.

Στον ακόλουθο Πίνακα 4 αναγράφονται οι μέσες 24-ωρες τιμές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub>, του ύψους βροχής και της θερμοκρασίας κατά το διάστημα από τις 11 Μαρτίου 2016 έως τις 14 Απριλίου 2016 στο σταθμό μέτρησης του Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων της Σχολής Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης στην περιοχή Κουνουπιδιανά Χανίων. Επίσης φαίνεται ο μέσος όρος των τιμών καθώς και η τυπική απόκλιση αυτών.

Στην πρώτη στήλη, η οποία μάλιστα ονομάζεται στήλη έναρξη-λήξη αναγράφονται οι ημερομηνίες των μετρήσεων και συγκεκριμένα ολόκληρου του 24-ωρου μέτρησης, καθώς ξεκινούσαν στις 10 π.μ. και ολοκληρώνονταν στις 10 π.μ. της επόμενης ημερολογιακής μέρας. Στη δεύτερη στήλη παρουσιάζονται οι μέσες 24-ωρες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub>, οι οποίες μετριούνται σε μονάδα μέτρησης  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Στην τρίτη στήλη παρουσιάζονται οι μετρήσεις από το μέσο 24-ωρο ύψος βροχής που σημειώθηκε το διάστημα του εκάστοτε 24-ωρου, το οποίο μετριέται σε χιλιοστά (mm). Τέλος, στην τέταρτη στήλη σημειώνεται η μέση θερμοκρασία, η οποία μετρήθηκε το διάστημα του εκάστοτε 24ωρου σε βαθμούς Κελσίου (°C). Με ροζ χρώμα σημειώνεται η μέρα με τη μεγαλύτερη (maximum) συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων, ενώ με μπλε χρώμα σημειώνεται η μέρα με τη μικρότερη συγκέντρωση (minimum) αντίστοιχα καθ' όλη την περίοδο των μετρήσεων.

"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων PM<sub>10</sub> στην πόλη των Χανίων"

Καραβά Στυλιανή

Πίνακας 4: Μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων, ύψους βροχής και θερμοκρασίας από το σταθμό μέτρησης του Πολυτεχνείου Κρήτης στην περιοχή Κουνουπιδιανά Χανίων

a/a	Έναρξη-Λήξη	PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	Ύψος βροχής (mm)	T (°C)
1	11-12/03/16	20,77	0	15,0
2	12-13/03/16	100,17	0	12,1
3	13-14/03/16	40,52	9,4	12,5
4	14-15/03/16	15,19	4	11,8
5	15-16/03/16	22,30	0	11,6
6	16-17/03/16	17,47	0	11,7
7	17-18/03/16	19,17	0	10,7
8	18-19/03/16	26,68	0	12,6
9	19-20/03/16	20,72	0	14,3
10	20-21/03/16	20,23	0	14,7
11	21-22/03/16	15,70	0	14,9
12	22-23/03/16	25,79	0	17,9
13	23-24/03/16	556,23	0	20,0
14	24-25/03/16	31,49	0	17,3
15	25-26/03/16	25,08	0	16,2
16	26-27/03/16	17,70	0,4	12,7
17	27-28/03/16	11,90	10	12,3
18	28-29/03/16	14,50	0,2	12,5
19	29-30/03/16	16,00	0	15,4
20	30-31/03/16	20,13	0	15,8
21	31-01/04/16	15,31	0,2	16,3

*"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων PM<sub>10</sub> στην πόλη των Χανίων"*

*Καραβά Στυλιανή*

22	01-02/04/16	17,35	0	16,1
23	02-03/04/16	12,04	0,4	16,4
24	03-04/04/16	26,76	0,2	15,5
25	04-05/04/16	27,42	0,2	16,9
26	05-06/04/16	25,10	0	17,4
27	06-07/04/16	26,13	0	19,0
28	07-08/04/16	43,96	0	19,2
29	08-09/04/16	57,91	0	20,6
30	09-10/04/16	33,08	0	17,9
31	10-11/04/16	18,07	0,4	17,8
32	11-12/04-16	21,73	1,2	16,5
33	12-13/04/16	20,19	0	18,2
34	13-14/04/16	26,63	0	19,9
35	14-15/04/16	68,46	0	22,0
	<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ (Μ.Ο.)</b>	<b>42,2</b>	<b>1,1</b>	<b>14,1</b>
	<b>ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ</b>	<b>91,1</b>	<b>2,9</b>	<b>3,3</b>

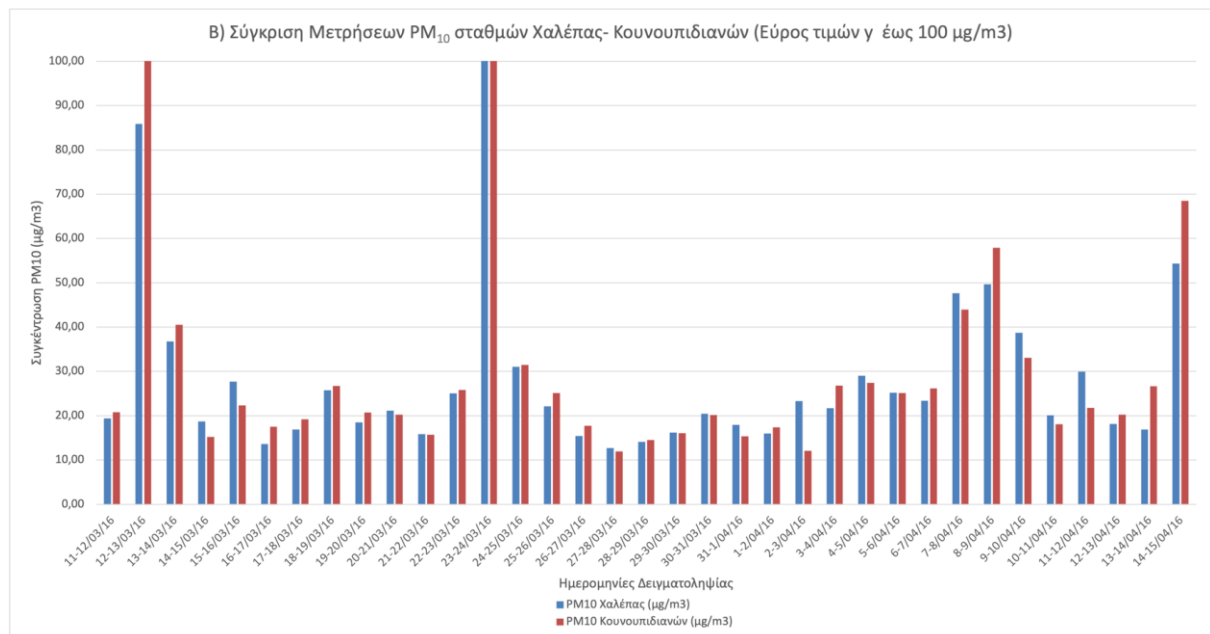
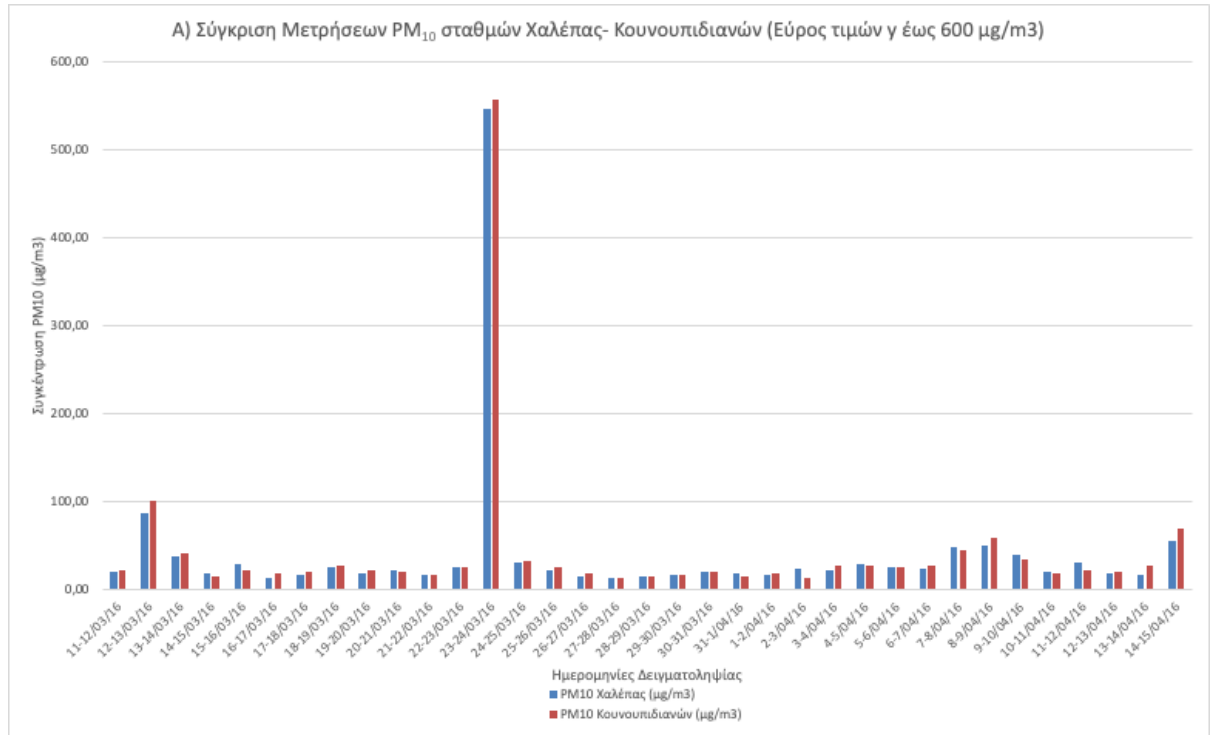
Όπως φαίνεται καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων στο σταθμό μέτρησης στο Πολυτεχνείο Κρήτης στην περιοχή Κουνουπιδιανά Χανίων, η μέση τιμή των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> ήταν  $42,2 \pm 91,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , το μέσο ύψος βροχής  $1,1 \pm 2,9 \text{ mm}$ , ενώ η μέση θερμοκρασία μετρήθηκε  $14,1 \pm 3,3 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Μεγάλη υπέρβαση των μέσων 24-ωρων τιμών των PM<sub>10</sub> παρατηρήθηκαν στις 23-24/03/16 ( $556,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) και 12-13/03/16 ( $100,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Αντίθετα η χαμηλότερη μέση 24-ωρη τιμή των PM<sub>10</sub> μετρήθηκε στις 27-28/03/16 ( $11,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων  $PM_{10}$  στην πόλη των Χανίων"

Καραβά Στυλιανή

Στη συνέχεια παρουσιάζονται στην Εικόνα 12 γραφήματα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων των μέσων 24-ωρων τιμών των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{10}$  συγκριτικά για τις κοινές μέρες μετρήσεων την άνοιξη του 2016 στους δύο σταθμούς μέτρησης του Πολυτεχνείου Κρήτης (Κουνουπιδιανά) και του ΕΛΜΕΠΑ (Χαλέπα).



Εικόνα 12: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{10}$  την άνοιξη του 2016 στους σταθμούς μέτρησης Χαλέπας (ΕΛΜΕΠΑ) και Κουνουπιδιανών (Πολυτεχνείου Κρήτης). Α) Εύρος τιμών γ-άξονα 0 - 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Β) Εύρος τιμών γ-άξονα 0 - 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Τα γραφήματα της Εικόνας 12 χωρίζονται σε Α και Β αντίστοιχα. Στο διάγραμμα Α της Εικόνας 12Α το εύρος τιμών του γ-άξονα λαμβάνει τιμές από 0 έως 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  με σκοπό την εμφάνιση των μέγιστων τιμών. ενώ στο διάγραμμα 12Β όπου το εύρος τιμών κυμαίνεται από 0 έως 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , διακρίνονται οι διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων στους δύο σταθμούς μέτρησης ανά ημέρα.

Συμπερασματικά, οι μεταβολές των τιμών ανάμεσα στους δύο σταθμούς δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές και γενικότερα κινούνται στο ίδιο εύρος τιμών. Παρόλα αυτά παρατηρήθηκε μια μικρή αύξηση των μέσων 24-ωρων συγκεντρώσεων στα Κουνουπιδιανά (μέση τιμή  $42,2 \pm 91,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) σε σύγκριση με την Χαλέπα (μέση τιμή  $41 \pm 89,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), η οποία οφείλεται πιθανότατα σε διάφορους παράγοντες, όπως το υψόμετρο και μεγαλύτερη κυκλοφορία οχημάτων. Τέλος παρατηρούνται μέγιστες τιμές στις 23-24/03/2016 ( $556,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$  στα Κουνουπιδιανά και  $546,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$  στην Χαλέπα) και 12-13/03/2016 ( $100,17$  και  $85,87 \mu\text{g}/\text{m}^3$  αντίστοιχα), οι οποίες οφείλονται πιθανότατα σε σκόνη από την έρημο Σαχάρα, η οποία έχει μεταφερθεί και έτσι καταγράφονται αυξημένες τιμές και στους δύο σταθμούς. Για να αποδειχθεί ότι η αύξηση των PM<sub>10</sub> συγκεντρώσεων οφείλεται σε αερομεταφερόμενη σκόνη της ερήμου, ερευνήθηκαν στη συνέχεια οι οπισθοπορίες των αερίων μαζών.

## **6.2 ΧΑΡΤΕΣ ΟΠΙΣΘΟΠΟΡΙΩΝ**

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι οπισθοπορίες των αερίων μαζών ως αερομεταφερόμενα αιωρούμενα σωματίδια PM<sub>10</sub>, που υπολογίσθηκαν για όλες τις 24-ωρες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο σταθμό μέτρησης των Κουνουπιδιανών στο Πολυτεχνείο Κρήτης και στο σταθμό μέτρησης στη Χαλέπα στο ΕΛΜΕΠΑ. Για διευκόλυνση οι ημερομηνίες δειγματοληψίας ομαδοποιήθηκαν ανά 6 ημέρες. Στον παρακάτω Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι ημερομηνίες, όπως ομαδοποιήθηκαν ανά 6 μέρες ή αλλιώς ανά 144 ώρες, για τις οποίες υπολόγισε το πρόγραμμα HYSPLIT τις οπισθοπορίες των αερίων μαζών, χωρισμένες ανά μήνα.

Πίνακας 5: Ομαδοποίηση ημερομηνιών υπολογισμού οπισθοποριών των αερομεταφερόμενων αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{10}$  ανά 144 ώρες από το πρόγραμμα READY HYSPLIT

ΜΗΝΕΣ	ΗΜΕΡΕΣ
2015 Δεκέμβριος	15/12-20/12
	21/12-26/12
	27/12-01/01
2016 Ιανουάριος	02/01-07/01
	08/01-13/01
	14/01-19/01
	20/01-25/01
	26/01-31/01
2016 Φεβρουάριος	01/02-06/02
	07/02-12/02
	13/02-18/02
	19/02-24/02
	25/02-01/03
2016 Μάρτιος	02/03-07/03
	08/03-13/03
	14/03-19/03
	20/03-25/03
	26/03-31/03
2016 Απρίλιος	01/04-06/04
	07/04-14/04

Στο πρόγραμμα RAEDY HYSPLIT, για να δοθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα για τη χρονική και χωρική οπισθοπορία, ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα. Οι συντεταγμένες που δόθηκαν στο πρόγραμμα ήταν 35.5 N και 24.1 E. Στη συνέχεια επιλέχθηκε η πρώτη μέρα που ξεκίνησε η πρώτη μέτρηση, δηλαδή η ημέρα 15 Δεκεμβρίου 2015, με ώρα έναρξης 10:00 και με το total run time επιλεγμένο για 144 ώρες, δηλαδή για τις προηγούμενες 6 μέρες. Τέλος αποτυπώθηκε σε χάρτη, η διαδρομή που διένυσε η αέρια μάζα, η οποία

*"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων PM<sub>10</sub> στην πόλη των Χανίων"*

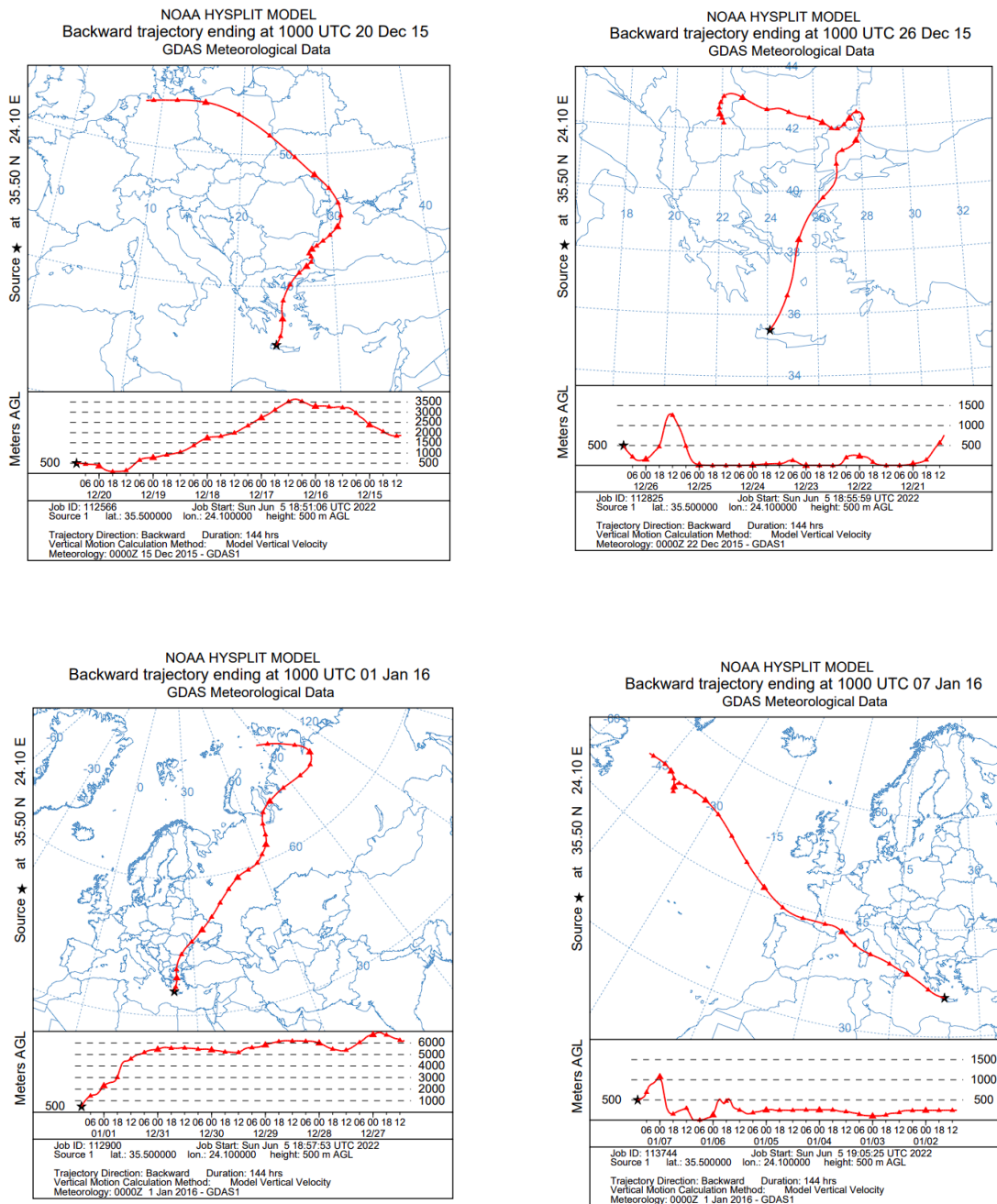
*Καραβά Στυλιανή*

μετρήθηκε ως συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> την συγκεκριμένη ημέρα και για 6 ακόμα ημέρες.

Συνολικά ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία για όλες τις μετρήσεις ανά 144 ώρες και στις παρακάτω Εικόνες 13 έως 17, όπου παρουσιάζονται ως χάρτες (figure maps) οι οπισθοπορίες, δηλαδή η διαδρομή που διάνυσαν οι αέριες μάζες τις προηγούμενες 6 ημέρες των μετρήσεων. Διαφαίνονται με ακρίβεια οι διαδρομές που ακολούθησαν οι αέριες μάζες από το σημείο αφετηρίας που προήλθαν έως το σημείο που κατέληξαν και μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις στους σταθμούς, αλλά και η ενδιάμεση πορεία τους (HYSPLIT, 1970).

"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων PM<sub>10</sub> στην πόλη των Χανίων"

Καραβά Στυλιανή

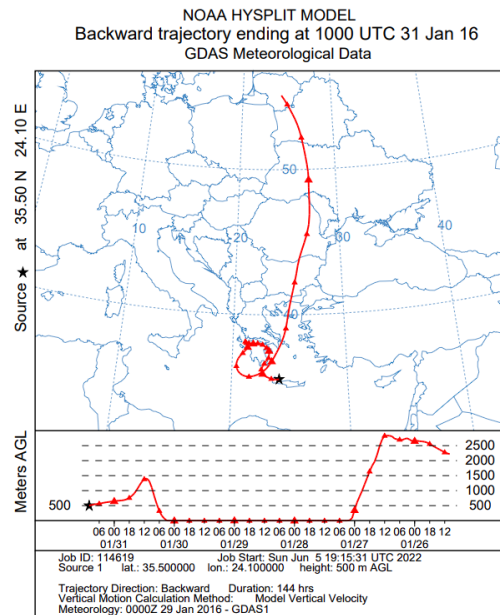
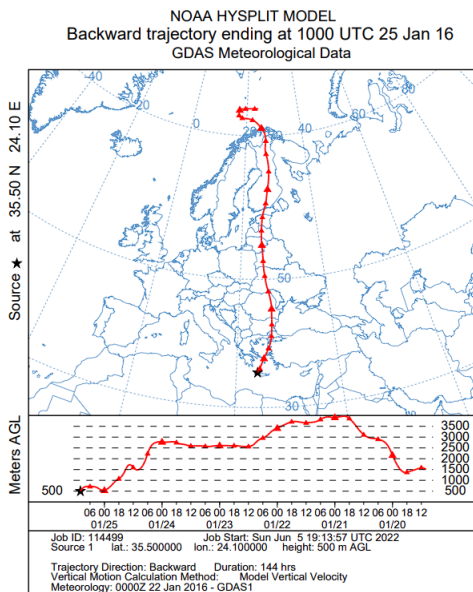
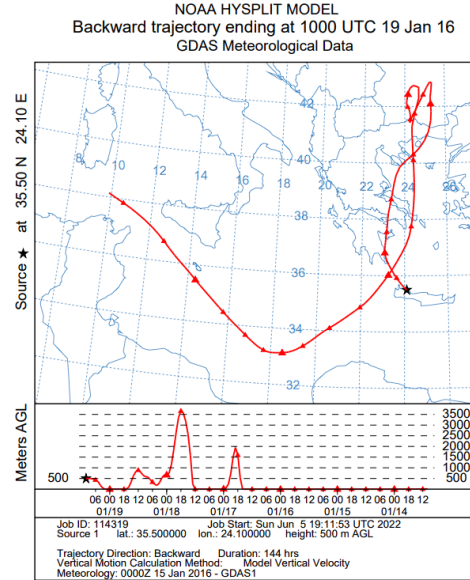
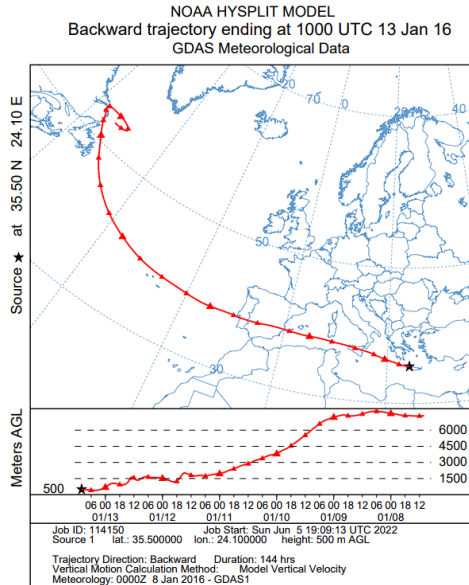


Εικόνα 13: Οπισθοπορίες αερίων μαζών [15-20/12/15 και 21-26/12/15 επάνω, 27/12/15-01/01/16 και 02-07/01/16 κάτω]



"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων PM<sub>10</sub> στην πόλη των Χανίων"

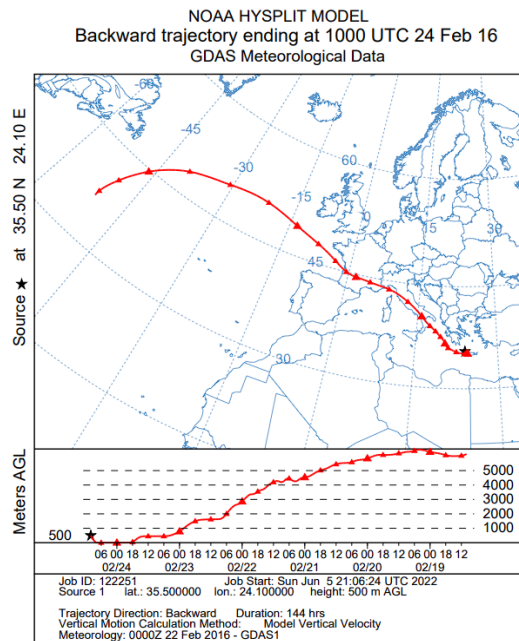
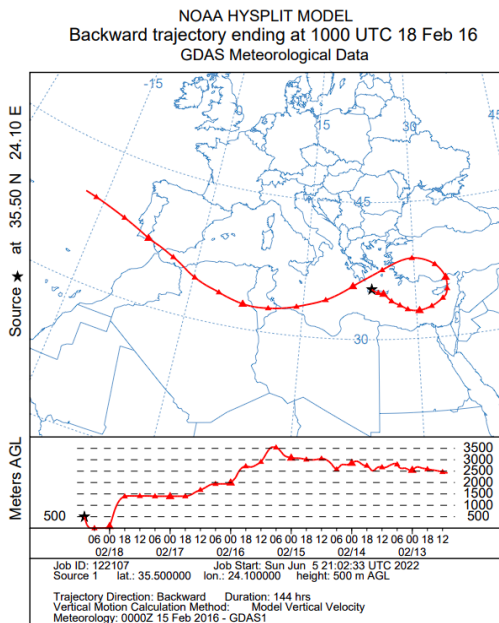
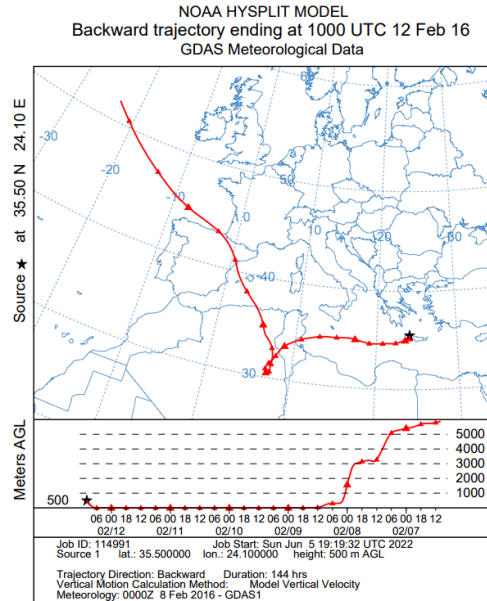
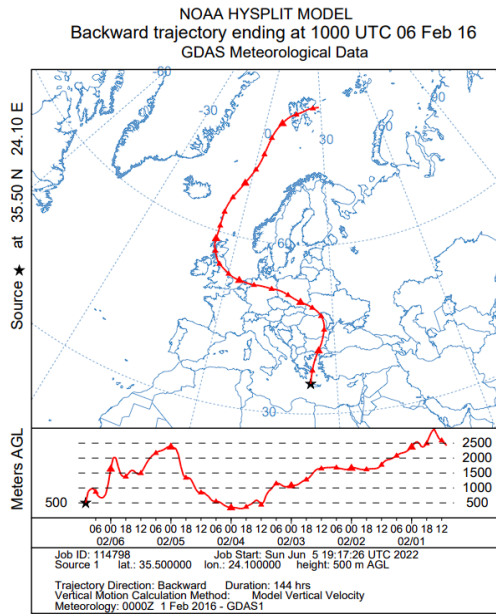
Καραβά Στυλιανή



Εικόνα 14: Οπισθοπορείες αερίων μαζών [08-13/01/16 και 14-19/01/16 επάνω, 20- 25/01/16 και 26-31/01/16 κάτω]

"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων  $PM_{10}$  στην πόλη των Χανίων"

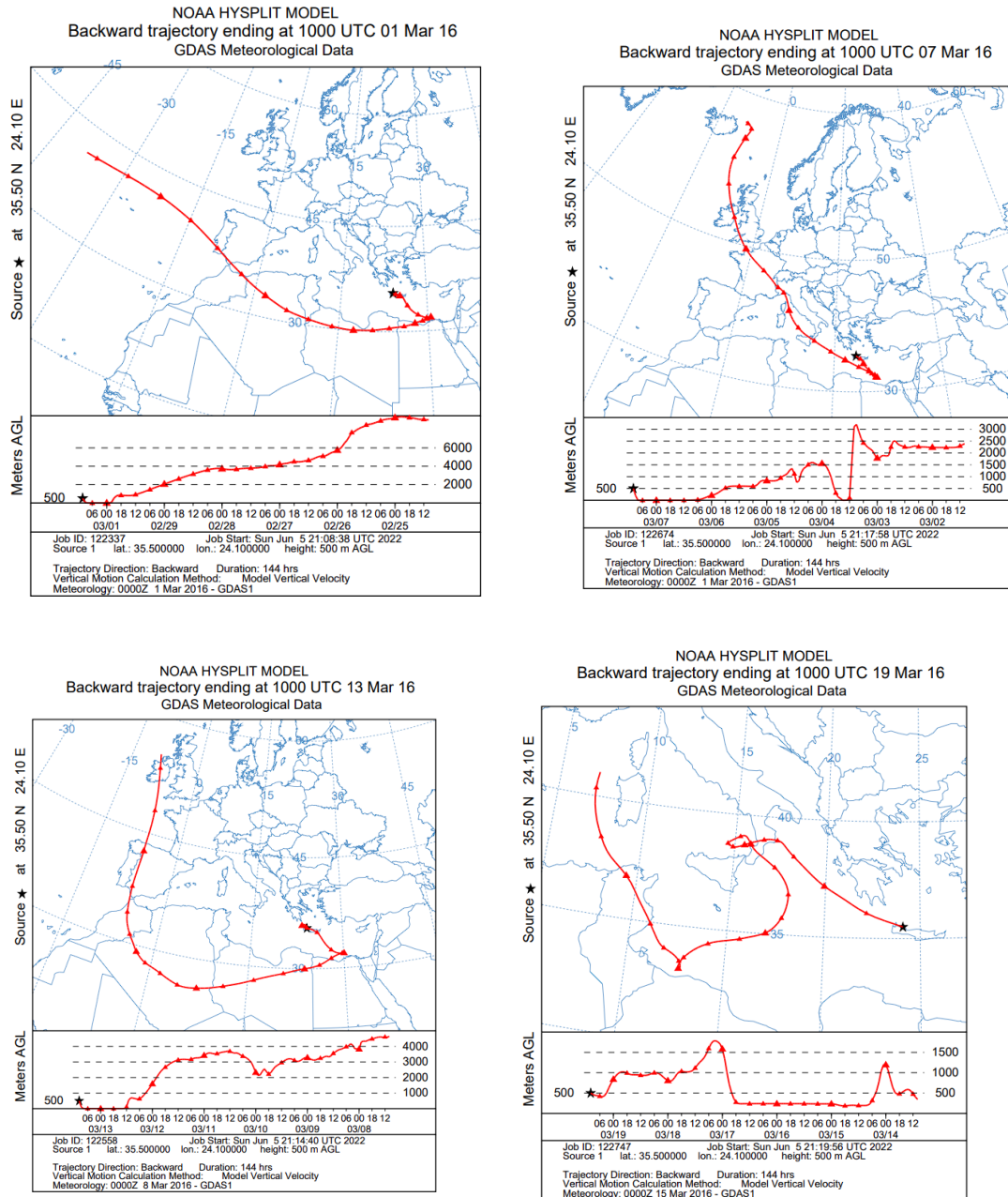
Καραβά Στυλιανή



Εικόνα 15: Οπισθοπορίες αερίων μαζών [01- 06/02/16 και 07-12/02/16 επάνω, 13-18/02/16 και 19-24/02/16 κάτω]

"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων  $PM_{10}$  στην πόλη των Χανίων"

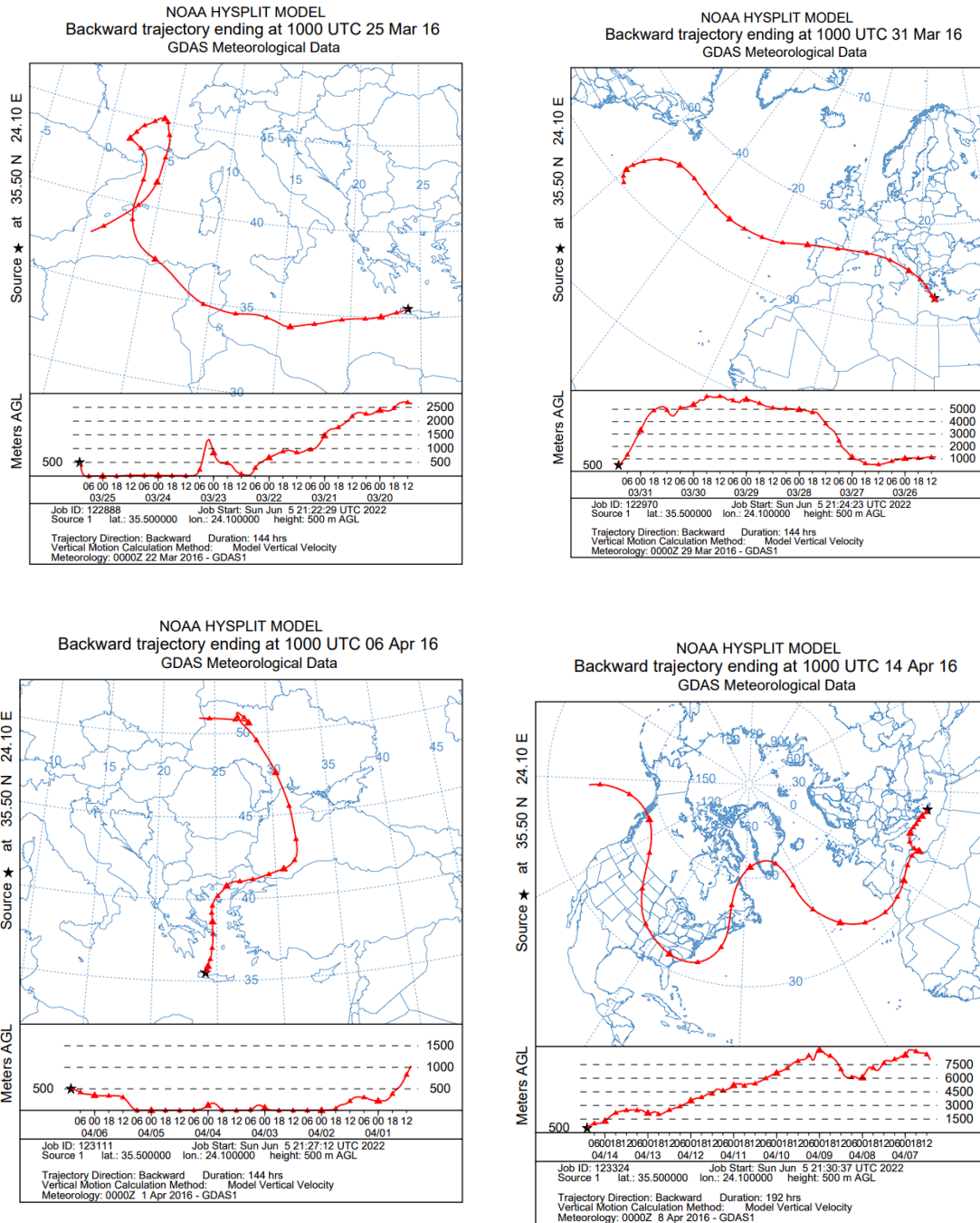
Καραβά Στυλιανή



Εικόνα 16: Οπισθοπορίες αερίων μαζών [25/02-01/03/16 και 02-07/03/16 επάνω, 08-13/03/16 έως 14-19/03/16 κάτω]

"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων PM<sub>10</sub> στην πόλη των Χανίων"

Καραβά Στυλιανή



Εικόνα 17: Οπισθοπορίες αερίων μαζών [20-25/03/16 και 26-31/03/16 επάνω, 01-06/04/16 και 07-14/04/16 κάτω]

Σε πολλές από τις απεικονιζόμενες οπισθοπορίες παρατηρείται ότι η αέρια μάζα κινείται σε υψόμετρο, το οποίο σταδιακά αυξάνεται, καθώς ξεκινάει από ύψος 500 μέτρων και σε μερικές περιπτώσεις ανυψώνεται έως περίπου τα 3.500 ή ακόμα και τα 5.000 μέτρα. Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε κατά τις ημερομηνίες 20/12/15, και 01/01/16 (Εικόνα 13),

13/01/16 και 25/01/16 (Εικόνα ), 24/02/16 (Εικόνα 15), 01/03/16 (Εικόνα 16) και τέλος κατά την ημερομηνία 14/04/16 (Εικόνα 17).

Αντίθετα σε πολλές άλλες οπισθοπορίες παρατηρείται πως η αέρια μάζα κινείται κοντά στο υψόμετρο των 500 μέτρων αλλά και σταδιακά μειώνεται. Η αέρια μάζα δηλαδή κινείται πολύ χαμηλά τόσο κοντά στο έδαφος και όσο και στην επιφάνεια της θάλασσας. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται κατά τις ημερομηνίες 26/12/15 και 07/01/16 (Εικόνα 13), 12/02/16 (Εικόνα 15), 19/03/16 (Εικόνα 16) και τέλος κατά την ημερομηνία 04/03/16 (Εικόνα 17).

Καθώς η θάλασσα λειτουργεί ως καταβόθρα ρύπων, στις περιπτώσεις, όπου οι αέριες μάζες κινούνται σε χαμηλά υψόμετρα και συνεπώς πολύ κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας, οι ρύποι οι οποίοι μεταφέρονται μαζί με τις αέριες μάζες και συμπαρασύρονται από αυτές, δεσμεύονται στη θάλασσα.

Από τις παραπάνω Εικόνες φαίνεται ότι η πορεία που έχουν ακολουθήσει οι αέριες μάζες έχουν προέλθει ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες από Βόρειες κατευθύνσεις, όπως για παράδειγμα από την Βόρεια Ευρώπη, από τον Ατλαντικό Ωκεανό ή ακόμα και από το Βόρειο Πόλο. Περίπου σε πέντε από τις συνολικά είκοσι οπισθοπορίες οι αέριες μάζες προέρχονταν από τη Βόρεια Ευρώπη, σε 7 από τις 20 από τον Ατλαντικό Ωκεανό, ενώ σε 2 προέρχονταν από το Βόρειο Πόλο. Σε 2 μόνο περιπτώσεις παρατηρήθηκε ότι οι αέριες μάζες κινούνταν τοπικά εντός της γεωγραφικής έκτασης της Ελλάδας. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις οι αέριες μάζες προήλθαν από Δυτικές κυρίως κατευθύνσεις, συχνά διερχόμενες μέσω της Μεσογείου, ή και επάνω από Βόρειο Αφρικανικές χώρες. Το γεγονός αυτό μπορεί να εξηγήσει τις πολύ υψηλές συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> στις ημερομηνίες 12-13/03/2016 (Εικόνα 16) και 23-24/03/2026 (Εικόνα 17).

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, τις μέρες στις οποίες παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις PM<sub>10</sub> σωματιδίων, οι αέριες μάζες προέρχονται από την Αφρική, παρατηρείται η ύπαρξη της αφρικανικής σκόνης, η οποία συμπαρασύρει μαζί με τα σωματίδια και άλλους ρυπογόνους και μολυσματικούς παράγοντες. Επιπλέον όταν οι αέριες μάζες προέρχονται από βόρειο ευρωπαϊκές χώρες συμπαρασύρουν αέριους ρύπους, όπως π.χ. οξείδια του αζώτου, οξείδια του θείου κ.ά., εξαιτίας των εκτεταμένων βιομηχανικών περιοχών της Ευρώπης, στις οποίες εκπέμπεται μεγάλο ρυπαντικό φορτίο.



### **6.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ $PM_{10}$**

Τέλος συγκρίθηκαν οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{10}$  που μετρήθηκαν στις δύο περιοχές των Χανίων με τις συγκεντρώσεις της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης  $PM_{10}$  διάφορων πόλεων της Γης. Στον παρακάτω Πίνακα 6 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων  $PM_{10}$  που μετρήθηκαν σε μεγάλες αστικές, ημιαστικές και παραθαλάσσιες πόλεις.

Πίνακας 6: Συγκεντρώσεις αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης  $PM_{10}$  σε διάφορες πόλεις

<b>ΠΟΛΗ</b>	<b>ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ</b>	<b>ΕΙΔΟΣ ΣΤΑΘΜΟΥ</b>	<b>Μ.Ο. ΤΙΜΗΣ <math>PM_{10}</math> (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ</b>
Κρήτη, Ελλάδα	Κουνουπιδιανά	περιαστικός και παράκτιος (03-04/2016)	42,2 ± 91,1	(Δεδομένα Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων)
Κρήτη, Ελλάδα	Χαλέπα	ημιαστικός και παράκτιος (03-04/2016)	41 ± 89,2	(Δεδομένα Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων)
Κρήτη, Ελλάδα	Χαλέπα	ημιαστικός και παράκτιος (12/2015-04/2016)	28,4 ± 48,5	(Δεδομένα Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων)
Πολωνία	Κρακοβία	Ημιαστικός (1998-2016)	71,1	Biernacik and Zalewska (2023)
Αλγερία	Πόλη του Κωνσταντίνου	Αστικός (2015-2016)	70	Lokorai et al (2021)
Τουρκία	Κωνσταντινούπολη	Αστικός (2007-2017)	100	Baltaci, et al (2020)
Πολωνία	Γκντανσκ Βαλτική Θάλασσα	Αστικός και παράκτιος (2008-2009)	50	Lewandowska and Falkowska (2013)

Οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> των παραπάνω πόλεων υπολογίστηκαν ως μέσοι όροι για το διάστημα που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις και αναγράφεται σε παρένθεση στην 3<sup>η</sup> στήλη.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6 η μέση συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> που μετρήθηκαν στην Κωνσταντινούπολη της Τουρκίας υπερβαίνει το ανώτατο ημερήσιο επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων κατά 50 μg/m<sup>3</sup>, πιθανότατα λόγω της έντονης βιομηχανικής δραστηριότητας που λαμβάνει χώρα, της οικιακής θέρμανσης και της κυκλοφορίας οχημάτων. Επιπροσθέτως, η Πόλη του Κωνσταντίνου στην Αλγερία και η πόλη Κρακοβία στην Πολωνία, παρουσιάζουν την ίδια υπέρβαση του ανώτατου ημερήσιου επιτρεπτού ορίου (περίπου κατά 20 μg/m<sup>3</sup>). Αντιθέτως στην παράκτια πόλη Γκντανσκ της Πολωνίας παρατηρείται πτώση σχετικά με τις ημιαστικές περιοχές της χώρας, καθώς η μέση συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> είναι 50 μg/m<sup>3</sup>, τιμή επιτρεπτή σύμφωνα με τη νομοθεσία. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στην παρουσία της θάλασσας, η οποία λειτουργεί ως καταβόθρα των αέριων μαζών, παρά την βιομηχανική δραστηριότητα που αναπτύσσεται στην περιοχή.

Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία, αφού οι μέσοι όροι των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> ξεπερνούν το ανώτατο ετήσιο επιτρεπτό όριο των 40 μg/m<sup>3</sup>, σημαίνει πως έχουν γίνει αρκετές ημερήσιες υπερβάσεις.

Αντιθέτως αξίζει να σημειωθεί, πως ο μέσος όρος των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων για τις περιοχές Κουνουπιδιανά και Χαλέπα Χανίων είναι εντός του ημερήσιου επιτρεπτού ορίου των 50 μg/m<sup>3</sup>, παρόλο που η τυπική απόκλιση δείχνει ότι υπάρχουν αρκετές υπερβάσεις, οι οποίες οφείλονται, όπως δείχθηκε στην αερομεταφερόμενη σκόνη της ερήμου.

Από τον Πίνακα 3, ο οποίος παρουσιάζει τις αναλυτικές 24-ωρες μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> από το σταθμό μέτρησης του ΕΛΜΕΠΑ στη Χαλέπα, προκύπτουν υπερβάσεις των ορίων για ορισμένες ημέρες. Συγκεκριμένα, για το διάστημα 15 Δεκεμβρίου 2015 έως 15 Απριλίου 2016, παρατηρήθηκε πως έγιναν 5 φορές υπερβάσεις των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων, οι οποίες ξεπερνούσαν το ημερήσιο όριο των 50 μg/m<sup>3</sup>. Αναλυτικότερα, οι υπερβάσεις αυτές παρατηρήθηκαν για πρώτη φορά κατά την 24ωρη μέτρηση στις 18-19 Φεβρουαρίου 2016 με συγκέντρωση 52,90 μg/m<sup>3</sup>. Σχεδόν ίδια υπέρβαση παρουσιάστηκε για το 24-ωρο 29 Φεβρουαρίου – 1 Μαρτίου 2016 με

συγκέντρωση 52,17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Απότομη υπέρβαση του ορίου παρατηρήθηκε κατά το 24ωρο μέτρησης στις 12-13 Μαρτίου 2016 σημειώνοντας 85,87  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ωστόσο, υπερβολική αύξηση της συγκέντρωσης παρουσιάστηκε κατά το 24ωρο μετρήσεων 23-24 του ίδιου μήνα, με τιμή συγκέντρωσης 546,68  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Αυτό, όπως φάνηκε από τις οπισθοπορίες, οφείλεται στην παρουσία αερομεταφερόμενης σκόνης της ερήμου, η οποία ανέβασε την τιμή των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub>. Τέλος μετρήθηκε ελαφρά ημερήσια υπέρβαση με τιμή συγκέντρωσης 54,35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  στις 14-15 Απριλίου 2016.

Από τον Πίνακα 4, ο οποίος παρουσιάζει τις αναλυτικές 24-ωρες μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων από το σταθμό μέτρησης του Πολυτεχνείου στα Κουνουπιδιανά, προκύπτουν επίσης υπερβάσεις των ορίων για ορισμένες ημέρες. Συγκεκριμένα, για το διάστημα 11 Μαρτίου 2016 έως 15 Απριλίου 2016, παρατηρήθηκε πως έγιναν 4 φορές υπερβάσεις των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub>, οι οποίες ξεπερνούσαν το ανώτατο επιτρεπτό ημερήσιο όριο. Η πρώτη υπέρβαση παρατηρήθηκε κατά το 24ωρο μέτρησης 12-13 Μαρτίου 2016, σημειώνοντας 100,17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ραγδαία αύξηση συγκέντρωσης στην 24ωρη μέτρηση παρουσιάστηκε επίσης στις 23 - 24 Μαρτίου 2016 με τιμή 556,23  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ελαφρά ημερήσια υπέρβαση διαπιστώθηκε κατά την 24ωρη μέτρηση στις 8-9 Απριλίου 2016 με συγκέντρωση 57,91  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Τελευταία υπέρβαση σημειώθηκε κατά την 24ωρη μέτρηση στις 14-15 Απριλίου 2016 με τιμή συγκέντρωσης 68,96  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Συμπερασματικά συγκρίνοντας τις παραπάνω μετρήσεις στις δύο περιοχές κατά τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο 2016, συμπεραίνουμε πως οι ημερομηνίες υπέρβασης του ανώτατου επιτρεπτού ημερήσιου ορίου για τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> συμπίπτουν και στους δύο σταθμούς. Σχετικά με τις τιμές των PM<sub>10</sub> συγκεντρώσεων διαπιστώθηκε μια μικρή απόκλιση στους δύο σταθμούς μέτρησης με ελαφρά υψηλότερες τιμές στο σταθμό των Κουνουπιδιανών κατά την ίδια χρονική περίοδο, προφανώς λόγω του ότι ο σταθμός μέτρησης στα Κουνουπιδιανά στις εγκαταστάσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης βρίσκεται σε πολύ κοντινή απόσταση από το δρόμο κυκλοφορίας και το πάρκινγκ της Πολυτεχνειούπολης, ενώ ο σταθμός μέτρησης στην Χαλέπα στις εγκαταστάσεις του ΕΛΜΕΠΑ ήταν σε μεγαλύτερη απόσταση από το δρόμο κυκλοφορίας εντός του εσωτερικού προαύλιου χώρου.



**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7**  
**ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η εκτίμηση της διακύμανσης της συγκέντρωσης των εισπνεύσιμων ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> στην πόλη των Χανίων. Η διερεύνηση αυτών επιτεύχθηκε μέσω της επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων των ημερήσιων μετρήσεων που είχαν διενεργηθεί σε δύο περιοχές της πόλης των Χανίων (Χαλέπα και Κουνουπιδιανά) κατά την χειμερινή περίοδο του έτους 2015 και την εαρινή περίοδο του έτους 2016 και των χρονικών περιόδων, όπου οι συγκεντρώσεις των ρύπων στην πόλη των Χανίων ήταν μεγαλύτερες. Οι μετρήσεις στην Χαλέπα Χανίων πραγματοποιήθηκαν στις εγκαταστάσεις του Παραρτήματος Χανίων του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου σε συνεργασία με το Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Τεχνολογιών και Εφαρμογών του Τμήματος Ηλεκτρονικών Μηχανικών, επισπεύδον Τμήμα του πρώην Τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Τ.Ε., της Σχολής Μηχανικών. Ταυτόχρονα στις εγκαταστάσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης στην περιοχή Κουνουπιδιανά Χανίων, εντός της Πολυτεχνειούπολης, και συγκεκριμένα σε σταθμό, ο οποίος ιδρύθηκε το 2002 και ανήκει στο Εργαστήριο Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων της Σχολής Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις στην περιοχή των Κουνουπιδιανών.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα πτυχιακή εργασία περιλάμβανε την ανάλυση και αξιολόγηση των μετρήσεων που είχαν διενεργηθεί από τον επιβλέποντα εκπαιδευτικό Δρ. Ηλία Κοπανάκη και παραχωρηθεί ευγενικά σε συνεργασία με το Εργαστήριο Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων της Σχολής Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Τα δεδομένα των μετρήσεων αφορούσαν καθημερινές και 24-ωρες μετρήσεις συγκέντρωσης μάζας των αερομεταφερόμενων αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub>.

Μετά την επεξεργασία των δεδομένων και τη συλλογή των απαραίτητων πληροφοριών, χρησιμοποιήθηκε ένα πρόσθετο εργαλείο, το μοντέλο HYSPLIT, το οποίο έχει την ικανότητα, να απεικονίζει την οπισθοπορεία των αερίων μαζών. Μέσω του μοντέλου υπολογίστηκε η πορεία των αερίων μαζών των προηγούμενων έξι ημερών από την ημερομηνία κάθε μέτρησης. Με αυτό τον τρόπο διαφάνηκε και αξιολογήθηκε η πορεία, την

οποία ακολούθησαν οι αέριες μάζες, καθώς και η επίδραση των πηγών εκπομπής (π.χ. της αερομεταφερόμενης σκόνης ερήμου).

Αξίζει να σημειωθεί η σημαντικότητα της μελέτης αυτής λόγω της επίδρασης τόσο της κατεύθυνσης των αερίων μαζών όσο και των πηγών εκπομπής των σωματιδιακών ρύπων στις μετρηθείσες τιμές των PM<sub>10</sub> σωματιδίων. Μέσω των δεδομένων των οπισθοποριών επιβεβαιώθηκε, ότι μετρήθηκαν στην πόλη των Χανίων χαμηλές συγκεντρώσεις PM<sub>10</sub> σωματιδίων, όταν οι αέριες μάζες προέρχονταν κυρίως από βόρειες κατευθύνσεις κατά τους χειμερινούς μήνες, όπου επικρατούσαν βροχοπτώσεις, χιονοσκεπές έδαφος και υψηλή σχετική υγρασία (υγρή απόθεση σωματιδίων) (18-19/01/2016: PM<sub>10</sub> 15,35 μg/m<sup>3</sup> και 13,6 mm ύψος βροχής) ή προέρχονταν από τον ωκεανό (27-28/03/2016, PM<sub>10</sub> 10 μg/m<sup>3</sup>). Γενικότερα είναι γνωστό, ότι οι τιμές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> μειώνονται όσο αυξάνονται τα φαινόμενα των βροχοπτώσεων και αυτό οφείλεται στο ότι τα κατακρημνίσματα των βροχοπτώσεων, δηλαδή οι σταγόνες της βροχής, όσο πλησιάζουν στο έδαφος συμπαρασύρουν τα σωματίδια που αιωρούνται. Επιπλέον γνωρίζουμε ότι οι ωκεανοί, οι θάλασσες και γενικότερα τα επιφανειακά νερά αποτελούν καταβόθρες για τους ατμοσφαιρικούς αέριους και σωματιδιακούς ρύπους. Παρ' όλα αυτά, οι διαφοροποιήσεις των τιμών των συγκεντρώσεων ανάμεσα στους δύο σταθμούς μπορεί να οφείλονται στα διαφορετικά όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις τους.

Αντίθετα στην παρούσα εργασία διαπιστώθηκαν υψηλές υπερβάσεις συγκεντρώσεων PM<sub>10</sub> σωματιδίων κατά τη διάρκεια των εαρινών μηνών, όταν η διεύθυνση του ανέμου ήταν κυρίως δυτική και οι αέριες μάζες διέρχονταν επάνω από αφρικανικές χώρες και την έρημο. Έτσι η υψηλότερη υπέρβαση σημειώθηκε κατά την ημερομηνία 23-24/03/2016, όπου η συγκέντρωση των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν δεκαπλάσια του ημερήσιου ανώτατου επιτρεπτού ορίου PM<sub>10</sub> σωματιδίων (~ 550 μg/m<sup>3</sup>). Μικρές διαφοροποιήσεις παρατηρήθηκαν και ανάμεσα στις εποχιακές μετρήσεις του χειμώνα και της άνοιξης. Γενικότερα το χειμώνα λόγω των βροχοπτώσεων, είναι γεγονός πως παρατηρείται μια μικρή μείωση των τιμών των συγκεντρώσεων, καθώς η βροχή συμπαρασύρει στο έδαφος τα σωματίδια. Βέβαια, καθώς η θερμοκρασία μειώνεται τους χειμερινούς μήνες, παρατηρείται πως οι μετρήσεις επηρεάζονται από τα σωματίδια που εκπέμπονται λόγω των καυστήρων και των τζακιών.

Πολλοί είναι οι παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις των PM<sub>10</sub> σωματιδίων. Από τη σύγκριση των μέσων συγκεντρώσεων των PM<sub>10</sub> σωματιδίων σε διάφορες περιοχές

του πλανήτη στην ενότητα 6.3, φάνηκε ότι γενικότερα οι παραθαλάσσιες πόλεις παρουσίαζαν πιο μειωμένες τιμές συγκεντρώσεων PM<sub>10</sub> σωματιδίων σε σχέση με πόλεις στην ενδοχώρα λόγω του ότι η θάλασσα λειτουργούσε ως καταβόθρα. Επίσης διαφορές σημειώθηκαν σε πόλεις, οι οποίες έχουν έντονη βιομηχανική δραστηριότητα και παράγουν υψηλότερες συγκεντρώσεις ρύπων σε σύγκριση με τις περιοχές οι οποίες έχουν περιορισμένη βιομηχανία.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί, πως αρκετές πόλεις οι οποίες βρίσκονται κοντά στην βόρεια Αφρική, τις ημέρες όπου οι άνεμοι πνέουν με ισχυρά μποφόρ, προς διάφορες κατευθύνσεις, επηρεάζονται από την Αφρικανική σκόνη και σημειώνουν μεγάλες ημερήσιες υπερβάσεις στις συγκεντρώσεις των PM<sub>10</sub> σωματιδίων.

Η νομοθεσία ελέγχου της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης ορίζει το ημερήσιο ανώτατο επιτρεπτό όριο των αιωρούμενων PM<sub>10</sub> σωματιδίων σε 50 μg/m<sup>3</sup>. Επιπλέον το όριο αυτό επιτρέπεται να σημειώσει υπερβάσεις έως 35 φορές το χρόνο. Αξίζει να σημειωθεί πως ο μέσος όρος των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων για τις περιοχές Κουνουπιδιανά και Χαλέπα είναι κατά βάση εντός του επιτρεπτού ορίου (τιμές χαμηλότερες των 50 μg/m<sup>3</sup>), με μεμονωμένες εξαιρέσεις υπερβάσεων, όπως φαίνεται από την υψηλή τυπική απόκλιση. Όπως φάνηκε από τις οπισθοπορίες των αερίων μαζών, οι υπερβάσεις αυτές οφείλονταν στην αερομεταφερόμενη σκόνη της ερήμου.

Περαιτέρω έρευνα θα μπορούσε να επικεντρωθεί στο σαφή καθορισμό των πηγών εκπομπής των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων σε κάθε γεωγραφική περιοχή, πόλη ή χώρα με σκοπό τον περιορισμό των εκπομπών τους εντός και εκτός συνόρων. Χρήσιμη θα ήταν και η έρευνα σχετικά με τη συσχέτιση των PM<sub>10</sub> συγκεντρώσεων με μετεωρολογικά δεδομένα, όπως π.χ. ύψος κατακρημνίσεων, υγρασία, διεύθυνση ανέμου, για τη διαμόρφωση μιας πιο ολοκληρωμένης εικόνας των αιτιών που ευνοούν στη ρύπανση της ατμόσφαιρας επάνω από μεγάλες πόλεις εντός και εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων PM<sub>10</sub> σωματιδίων στις δύο περιοχές Χαλέπα και Κουνουπιδιανά κατά τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο 2016 που διενεργήθηκαν ταυτόχρονες μετρήσεις, συμπεραίνουμε πως οι ημερομηνίες υπέρβασης του ανώτατου επιτρεπτού ημερήσιου ορίου συμπίπτουν και στους δύο σταθμούς. Σχετικά με τις τιμές των PM<sub>10</sub> συγκεντρώσεων διαπιστώθηκε μια μικρή απόκλιση στους δύο σταθμούς μέτρησης με

ελαφρά υψηλότερες τιμές στο σταθμό των Κουνουπιδιανών κατά την ίδια χρονική περίοδο. Αυτό προφανώς οφείλεται στο ότι ο σταθμός μέτρησης στα Κουνουπιδιανά στις εγκαταστάσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης βρίσκεται σε πολύ κοντινή απόσταση από το δρόμο κυκλοφορίας και το πάρκινγκ της Πολυτεχνειούπολης, ενώ ο σταθμός μέτρησης στην Χαλέπα στις εγκαταστάσεις του ΕΛΜΕΠΑ ήταν σε μεγαλύτερη απόσταση από το δρόμο κυκλοφορίας εντός του εσωτερικού προαύλιου χώρου.

Από τη βιβλιογραφία (Γεντεκάκης, Ι., 2010) είναι γνωστό, ότι στα αστικά κέντρα μια κύρια (ή και η κυριότερη) πηγή εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων είναι η κυκλοφορία των πάσης φύσεως τροχοφόρων (μεταφορές). Είναι αναγκαία η ενθάρρυνση της δημιουργίας κάθε υποδομής που περιορίζει και αποτρέπει την έντονη κυκλοφορία των οχημάτων. Η δημιουργία τέτοιων υποδομών, καθώς και η φροντίδα και η αναβάθμιση αυτών που ήδη υπάρχουν, αλλά και η εφαρμογή εναλλακτικών λιγότερο ρυπογόνων μορφών αυτοκίνησης, βελτιώνουν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος και της ζωής γενικότερα. Για παράδειγμα, η ενίσχυση του οικιστικού ιστού με περισσότερους ελεύθερους χώρους, ποδηλατοδρόμους, χώρους πρασίνου και περιπάτου δίνουν 'ανάσες' και αλλάζουν την ποιότητα αέρα των πόλεων (Ρεμουντάκη, Ε., 2010).

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Ελληνική βιβλιογραφία

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. (2014). [Online] Διαθέσιμο από:

<http://lap.physics.auth.gr/atmdiasp/parousiaseis/chapter2.pdf>

[Προσβάσιμο στις 9 Οκτωβρίου 2022]

Αυτοδιοίκηση. (2022). *Κλίμα. Χανιά, Χανιά, Δυτική Κρητη*.

[Online] Διαθέσιμο από:

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%AC#%CE%9A%CE%BB%CE%AF%CE%BC%CE%B1>

[Προσβάσιμο στις 18 Νοεμβρίου 2022]

Βικιπαίδεια. (2021). *Αμμωνία*. [Online] Διαθέσιμο από:

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BC%CE%BC%CF%89%CE%BD%CE%AF%CE%B1>

[Προσβάσιμο στις 15 Οκτωβρίου 2022]

Βικιπαίδεια. (2021). *Βαρέα Μέταλλα*. [Online] Διαθέσιμο από:

[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B1%CF%81%CE%AD%CE%B1\\_%CE%BC%CE%AD%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B1](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B1%CF%81%CE%AD%CE%B1_%CE%BC%CE%AD%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B1)

[Προσβάσιμο στις 15 Οκτωβρίου 2022]

Βικιπαίδεια. (2021). *Διοξείδιο του άνθρακα*. [Online] Διαθέσιμο από:

[https://el.wikipedia.org/wiki/Διοξείδιο\\_του\\_άνθρακα](https://el.wikipedia.org/wiki/Διοξείδιο_του_άνθρακα)

[Προσβάσιμο στις 15 Οκτωβρίου 2022]

Βικιπαίδεια. *Διοξείδιο του θείου*. [Online] Διαθέσιμο από:

[https://el.wikipedia.org/wiki/Διοξείδιο\\_του\\_θείου](https://el.wikipedia.org/wiki/Διοξείδιο_του_θείου)

[Προσβάσιμο στις 15 Οκτωβρίου 2022]

Βικιπαίδεια, (2021). *Κλίμα – Χανιά* [Online], Διαθέσιμο από: [http://www.chania-info.gr/index.php?option=com\\_content&task=view&id=373&Itemid=133](http://www.chania-info.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=373&Itemid=133)

[Προσβάσιμο στις 18 Νοεμβρίου 2022]

Βικιπαίδεια. (2021). *Μεθάνιο*. [Online] Διαθέσιμο από:  
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B5%CE%B8%CE%AC%CE%BD%CE%B9%CE%BF>

[Προσβάσιμο από 15 Οκτωβρίου 2022]

Βικιπαίδεια. (2021). *Μονοξειδίο του άνθρακα*. [Online] Διαθέσιμο από:  
[https://el.wikipedia.org/wiki/Μονοξειδίο\\_του\\_άνθρακα](https://el.wikipedia.org/wiki/Μονοξειδίο_του_άνθρακα)

[Προσβάσιμο στις 15 Οκτωβρίου 2022]

Βικιπαίδεια, (2021). *Νομός Χανίων*. [Online] Διαθέσιμο από:  
[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%BF%CE%BC%CF%8C%CF%82\\_%CE%A7%CE%B1%CE%BD%CE%AF%CF%89%CE%BD](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%BF%CE%BC%CF%8C%CF%82_%CE%A7%CE%B1%CE%BD%CE%AF%CF%89%CE%BD)

[Προσβάσιμο στις 3 Ιουλίου 2022]

Βικιπαίδεια. (2021). *Οζόν*. [Online] Διαθέσιμο από:  
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%8C%CE%B6%CE%BF%CE%BD>

[Προσβάσιμο στις 15 Οκτωβρίου 2022]

Βικιπαίδεια. (2019). *Ολικά αιωρούμενα στερεά*. [Online] Διαθέσιμο από:  
[https://el.wikipedia.org/wiki/Ολικά\\_αιωρούμενα\\_στερεά](https://el.wikipedia.org/wiki/Ολικά_αιωρούμενα_στερεά)

[Προσβάσιμο στις 22 Οκτωβρίου 2022]

Βικιπαίδεια. (2021). *Οξείδια του αζώτου*. [Online] Διαθέσιμο από:  
[https://el.wikipedia.org/wiki/Οξείδια\\_του\\_αζώτου\\_\(NOx\)](https://el.wikipedia.org/wiki/Οξείδια_του_αζώτου_(NOx))

[Προσβάσιμο στις 15 Οκτωβρίου 2022]

Βικιπαίδεια. (2021). *Οξίνη βροχής*. [Online] Διαθέσιμο από:  
[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%8C%CE%BE%CE%B9%CE%BD%CE%B7\\_%CE%B2%CF%81%CE%BF%CF%87%CE%AE#:~:text=%CE%8C%CE%BE%CE%B9%CE%BD%CE%B7%20%CE%B2%CF%81%CE%BF%CF%87%CE%AE%20%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%AC%CE%B6%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%B9%20%CF%84%CE%BF%20%CF%86%CE%B1%CE%B9%CE%BD%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%BF%20%CF%84%CF%89%CE%BD%20%CE%B1%CF%83%CF%85%CE%](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%8C%CE%BE%CE%B9%CE%BD%CE%B7_%CE%B2%CF%81%CE%BF%CF%87%CE%AE#:~:text=%CE%8C%CE%BE%CE%B9%CE%BD%CE%B7%20%CE%B2%CF%81%CE%BF%CF%87%CE%AE%20%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%AC%CE%B6%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%B9%20%CF%84%CE%BF%20%CF%86%CE%B1%CE%B9%CE%BD%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%BF%20%CF%84%CF%89%CE%BD%20%CE%B1%CF%83%CF%85%CE%)

"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων  $PM_{10}$  στην πόλη των Χανίων"

Καραβά Στυλιανή

BD%CE%AE%CE%B8%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B1%20%CF%8C%CE%BE%CE%B9%CE%BD%CF%89%CE%BD,%CF%87%CE%B1%CE%BB%CE%AC%CE%B6%CE%B9%2C%20%CF%87%CE%B9%CF%8C%CE%BD%CE%B9%2C%20%CE%BF%CE%BC%CE%AF%CF%87%CE%BB%CE%B7%2C%20%CF%80%CE%AC%CF%87%CE%BD%CE%B7%2C%20%CF%89%CF%82%20%CE%BA%CE%B1%CE%B9%20%CE%BE%CE%B7%CF%81%CE%AE%20%CF%83%CE%BA%CF%8C%CE%BD%CE%B7.

[Προσβάσιμο στις 15 Οκτωβρίου 2022]

Βικιπαίδεια. (2021). *Υδροθείο*. [Online] Διαθέσιμο από:

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CE%B4%CF%81%CF%8C%CE%B8%CE%B5%CE%B9%CE%BF>

[Προσβάσιμο στις 15 Οκτωβρίου 2022]

Βικιπαίδεια, (2021). *Χανιά*. [Online] Διαθέσιμο από:

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%AC>

[Προσβάσιμο στις 8 Ιανουαρίου 2023]

Γεντεκάκης, Ι. (2010). *Ατμοσφαιρική Ρύπανση, επιπτώσεις, έλεγχος και εναλλακτικές τεχνολογίες*. Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.

Γκικούδης, Χ. (2015). *Σύγκριση πρότυπης σταθμικής μεθόδου με μέθοδο αυτόματης μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{10}$* . [Online] Διαθέσιμο από:

<http://www.physics.ntua.gr/gr/dpms/diplomatikes/gikoudis.pdf>

[Προσβάσιμο στις 15 Οκτωβρίου 2022]

ΕΛΣΤΑΤ. (2011). Ελληνική Στατιστική Αρχή. Απογραφή πληθυσμού . Χανίων, Χανίων, Κρήτη. [Online] Διαθέσιμο από: <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SAM03/>

[Προσβάσιμο στις 10 Νοεμβρίου 2022]

Ζαφειρόπουλος, Κ. (2022). *Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Σωματίδια  $PM_{2.5}$ - Air pollution, Particulate Matter  $PM_{2.5}$* . [Online] Διαθέσιμο από:

<http://vyron.meteovyronas.gr/aquality.html>

[Προσβάσιμο στις 31 Αυγούστου 2022]

"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων  $PM_{10}$  στην πόλη των Χανίων"

Καραβά Στυλιανή

ΙΓΜΕ, (2015). *Εδαφολογικός χάρτης της Ελλάδας*. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών. Απόσπασμα Εδαφολογικού Χάρτη Ελλάδος, Περιφέρεια Κρήτης, Νομός Χανίων, φύλλο ΑΔ-04, σελ 85 από 577. Εκδόσεις ΙΓΜΕ, Αθήνα.

Καρακασίδου, Γ. (2021). *Μέθοδος μέτρησης μεγέθους σωματιδίων με τη βοήθεια της Καθίζησης. Νόμος του Stoke*. [Online] Διαθέσιμο από:

<https://rotamathe.com/2021/02/19/%ce%bc%ce%ad%ce%b8%ce%bf%ce%b4%ce%bf-%ce%bc%ce%ad%cf%84%cf%81%ce%b7%cf%83%ce%b7%cf%82-%ce%bc%ce%b5%ce%b3%ce%ad%ce%b8%ce%bf%cf%85%cf%82-%cf%83%cf%89%ce%bc%ce%b1%cf%84%ce%b9%ce%b4%ce%af%cf%89%ce%bd/>

[Προσβάσιμο στις 22 Οκτωβρίου 2022]

Κοπανάκης, Η. (2015). *Δυναμική των ατμοσφαιρικών αερολυμάτων και μελέτη του δυναμικού πυρηνοποίησης τους στην ανατολική Μεσόγειο. Διδακτορική Διατριβή*. Χανιά, Πολυτεχνείο Κρήτης. [Online] Διαθέσιμο από: [https://inkblue.gr/0029-korpanakis\\_ilias\\_phd\\_2015/](https://inkblue.gr/0029-korpanakis_ilias_phd_2015/)

[Προσβάσιμο στις 18 Νοεμβρίου 2022]

Λαζαρίδης, Μ. (2010). *Ατμοσφαιρική Ρύπανση με στοιχεία μετεωρολογίας*. Εκδόσεις Τζιόλας, Θεσσαλονίκη

Ρεμουντάκη Ε. (2010), *Οδηγός για το περιβάλλον: Αέρας και ατμοσφαιρική ρύπανση*, WWF Ελλάς, Αθήνα. [Online] Διαθέσιμο από:

[https://www.contentarchive.wwf.gr/images/pdfs/WWF%20Ellas\\_Odigos%20gia%20to%20perivallon\\_Aeras.pdf](https://www.contentarchive.wwf.gr/images/pdfs/WWF%20Ellas_Odigos%20gia%20to%20perivallon_Aeras.pdf)

[Προσβάσιμο στις 19 Ιουνίου 2023]

ΥΠΕΝ. (2018). *Χάρτης Κάλυψης Γης- Corine Land Cover*

[Online] Διαθέσιμο από: <http://mapsportal.ypen.gr/layers/geonode:stations>

[Προσβάσιμο στις 28 Αυγούστου 2022]

ΥΠΕΝ. (2021). *Χάρτης σταθμών μέτρησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης. ΕΔΠΑΡ- Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης*. Ερευνητικοί σταθμοί Νο. 68, 69, 70, 143.

[Online] Διαθέσιμο από: <http://mapsportal.ypen.gr/layers/geonode:stations>

[Προσβάσιμο στις 18 Νοεμβρίου 2022]



Ελληνική βιβλιογραφία με αγγλική ονομασία ιστοσελίδας

ECO-WEATHER. (2016). *Αέριες Μάζες*. [Online] Διαθέσιμο από:

<https://www.ecoweather.gr/aeries-mazes>

[Προσβάσιμο στις 7 Οκτωβρίου 2022]

Interpon. (2022). *Τι είναι οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC)*; [Online] Διαθέσιμο από:

<https://www.interpon.com/gr/%CE%AC%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%BF/%CF%84%CE%B9-%CE%B5%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%B9-%CE%BF%CE%B9-%CF%80%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CE%BF%CF%81%CE%B3%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CE%B5%CE%BD%CF%8E%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82-voc>

[Προσβάσιμο στις 15 Οκτωβρίου 2022]

Meteo. (2022). *Κλιματολογικά. Χανιά, Κρήτη*. [Online] Διαθέσιμο από:

<https://www.meteo.gr/Gmap.cfm>

[Προσβάσιμο στις 18 Νοεμβρίου 2022]

Meteoclub. (2016, Φεβρουαρίου 12). *Η γήινη Ατμόσφαιρα : ένας υπέροχος κόσμος!* [Online]

Διαθέσιμο από: <https://www.meteoclub.gr/themata/egkyklopaideia/7181-atmosphere-of-the-earth-part-3>

[Προσβάσιμο στις 8 Οκτωβρίου 2022]

NOESIS. *Αέριες μάζες- άνεμος- μέτωπο*. Ανάκτηση από Κέντρο Διάδοσης Επιστημών &

Μουσείο Τεχνολογίας. [Online] Διαθέσιμο από: [https://www.noesis.edu.gr/noesis-](https://www.noesis.edu.gr/noesis-online/wiki-)

[online/wiki-](https://www.noesis.edu.gr/noesis-online/wiki-)

[technologias/environment/%ce%b1%cf%84%ce%bc%cf%8c%cf%83%cf%86%ce%b1%ce%b9%cf%81%ce%b1/%ce%b1%ce%ad%cf%81%ce%b9%ce%b5%cf%82-](https://www.noesis.edu.gr/noesis-online/wiki-technologias/environment/%ce%b1%cf%84%ce%bc%cf%8c%cf%83%cf%86%ce%b1%ce%b9%cf%81%ce%b1/%ce%b1%ce%ad%cf%81%ce%b9%ce%b5%cf%82-)

[%ce%bc%ce%ac%ce%b6%ce%b5%cf%82-](https://www.noesis.edu.gr/noesis-online/wiki-technologias/environment/%ce%b1%cf%84%ce%bc%cf%8c%cf%83%cf%86%ce%b1%ce%b9%cf%81%ce%b1/%ce%b1%ce%ad%cf%81%ce%b9%ce%b5%cf%82-%ce%bc%ce%ac%ce%b6%ce%b5%cf%82-)

[%ce%ac%ce%bd%ce%b5%ce%bc%ce%bf%cf%82-](https://www.noesis.edu.gr/noesis-online/wiki-technologias/environment/%ce%b1%cf%84%ce%bc%cf%8c%cf%83%cf%86%ce%b1%ce%b9%cf%81%ce%b1/%ce%b1%ce%ad%cf%81%ce%b9%ce%b5%cf%82-%ce%bc%ce%ac%ce%b6%ce%b5%cf%82-%ce%ac%ce%bd%ce%b5%ce%bc%ce%bf%cf%82-)

[%ce%bc%ce%ad%cf%84%cf%89%cf%80%ce%bf/](https://www.noesis.edu.gr/noesis-online/wiki-technologias/environment/%ce%b1%cf%84%ce%bc%cf%8c%cf%83%cf%86%ce%b1%ce%b9%cf%81%ce%b1/%ce%b1%ce%ad%cf%81%ce%b9%ce%b5%cf%82-%ce%bc%ce%ac%ce%b6%ce%b5%cf%82-%ce%ac%ce%bd%ce%b5%ce%bc%ce%bf%cf%82-%ce%bc%ce%ad%cf%84%cf%89%cf%80%ce%bf/)

[Προσβάσιμο στις 7 Οκτωβρίου 2022]

Tettix. *Μεταλλικά Άλατα, Ιχνοστοιχεία*. Αθήνα. [Online] Διαθέσιμο από:

<https://www.ellinikabaharika.gr/component/content/article/1->

[%CE%86%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1/1305-](https://www.ellinikabaharika.gr/component/content/article/1-%CE%86%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1/1305-)

[%CE%9C%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%A](https://www.ellinikabaharika.gr/component/content/article/1-%CE%9C%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%A)

[C-%CE%86%CE%BB%CE%B1%CF%84%CE%B1,-](https://www.ellinikabaharika.gr/component/content/article/1-%CE%86%CE%BB%CE%B1%CF%84%CE%B1,-)

[%CE%99%CF%87%CE%BD%CE%BF%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%B9%CF%87%](https://www.ellinikabaharika.gr/component/content/article/1-%CE%99%CF%87%CE%BD%CE%BF%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%B9%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%B1)  
[CE%B5%CE%AF%CE%B1](https://www.ellinikabaharika.gr/component/content/article/1-%CE%99%CF%87%CE%BD%CE%BF%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%B9%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%B1)

[Προσβάσιμο στις 15 Οκτωβρίου 2022]

#### Αγγλική βιβλιογραφία

Baltaci, H., Alemdar, C. S. O., Akkoyunlu, B. O. (2020). *Background atmospheric conditions of high  $PM_{10}$  concentrations in Instabul, Turkey*. *Scencedirect*. Atmospheric

Pollution Research 11 (9), 1524-1534. [Online] Διαθέσιμο από:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1309104220301793>

[Προσβάσιμο στις 18 Νοεμβρίου 2022]

Biernacik, D. Zalewska, T. (2023).  $^7\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ , *airbone particulate matter and  $PM_{10}$  concentrations in relation to meteorological conditions in southern Poland in 1998–2016*.

*Scencedirect*. Journal of Environmental Radioactivity 259-260, 107122. [Online] Διαθέσιμο

από: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0265931X23000152>

[Προσβάσιμο στις 18 Νοεμβρίου 2022]

Britannica (2000). *Leptosol*. *FAO soil group*. The Editors of Encyclopaedia Britannica-

Article History, Science & Tech. [Online] Διαθέσιμο από:

<https://www.britannica.com/science/Leptosol>

[Προσβάσιμο στις 21 Ιανουαρίου 2023]

Chesworth, W. Ebelhar, S. A. Paris, Q. Spaargaren, O. (2008). *Leptosols*. *Encyclopedia of*

*Soil Science* 337-438. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Dordrecht. [Online]

Διαθέσιμο από: <https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-1-4020-3995->

"Χωρική και Χρονική Διακύμανση της Συγκέντρωσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων  $PM_{10}$  στην πόλη των Χανίων"

Καραβά Στυλιανή

9\_323?fbclid=IwAR2dJusUXTcDx8QDOtAlyNy2u1APwO8KvDtPWavjAvjoXO3ueL4veFaBefI

[Προσβάσιμο στις 21 Ιανουαρίου 2023]

Google Earth. (2001). Πρόγραμμα γραφικής απεικόνισης της Γης. [Online] Διαθέσιμο από:  
<https://earth.google.com/>

[Προσβάσιμο στις 18 Νοεμβρίου 2022]

HYSPLIT. (1970). *NOAA's Air Resources Laboratory (ARL). USA*. [Online] Διαθέσιμο από:  
<https://www.arl.noaa.gov/hysplit/>

[Προσβάσιμο στις 18 Νοεμβρίου 2022]

Lokorai, K., Ali-Khodja, H., Khardi, S., Bencharif-Madani, F., Naidja, L., Bouziane, M. (2021). *Influence of mineral dust on the concentration and composition of  $PM_{10}$  in the city of Constantine*. *Sciencedirect*. *Aeolian Research* 50, 100667. [Online] Διαθέσιμο από:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1875963721000148>

[Προσβάσιμο στις 18 Νοεμβρίου 2022]

Lewandowska, A. U. Falkowska, M. L. (2013). *High concentration episodes of  $PM_{10}$  in the air over the urbanized coastal zone of the Baltic Sea (Gdynia — Poland*. *Sciencedirect*.

*Atmospheric Research* 120- 121, 55-67. [Online] Διαθέσιμο από:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169809512002645>

[Προσβάσιμο στις 18 Νοεμβρίου 2022]