



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΦΟΡΤΩΣΗ/ΕΚΦΟΡΤΩΣΗ ΠΛΟΙΩΝ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΛΙΜΕΝΑ ΣΟΥΔΑΣ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ
ΧΡΗΣΤΟΥ ΝΙΚΟΛΟΥΔΑΚΗ**

Χανιά, Οκτώβριος, 2021



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Εργαστήριο Βιώσιμων και Ανανεώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΦΟΡΤΩΣΗ/ΕΚΦΟΡΤΩΣΗ ΠΛΟΙΩΝ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΛΙΜΕΝΑ ΣΟΥΔΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΧΡΗΣΤΟΥ ΝΙΚΟΛΟΥΔΑΚΗ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Καθηγητής Τσούτσος Θεοχάρης (Επιβλέπων)

Καθηγητής Λαζαρίδης Μιχαήλ

Αν. Καθηγητής Δάρας Τρύφων

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Πρόλογος και ευχαριστίες

Αρχικά , θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου Θεοχάρη Τσούτσο, υπεύθυνο του εργαστηρίου Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων, για την καθοριστική καθοδήγηση και υποστήριξη του σε όλο το διάστημα εκπόνησης της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διδάκτορα Νικόλαο Σηφάκη για την εξαιρετική συνεργασία μας, όπου σε οποιοδήποτε πρόβλημα ή απορία που προέκυψε κατά τη διάρκεια της μελέτης μου παρείχε τη πολύτιμη βοήθεια του και για τα χρήσιμα σχόλια του κατά τη συγγραφή της εργασίας.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Μιχάλη Λαζαρίδη και τον Αναπληρωτή Καθηγητή Τρύφωνα Δάρα που διετέλεσαν μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υποστήριξη της σε κάθε στιγμή της ζωής μου καθώς και τους φίλους και συμφοιτητές μου για τη στήριξη και συμπαράσταση τους στο διάστημα των σπουδών μου.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	i
Abstract	ii
Συντομογραφίες	iii
Κατάλογος Πινάκων	iv
Κατάλογος Διαγραμμάτων	v
Κατάλογος Εικόνων	vi
1 Εισαγωγή	1
1.1 Αντικείμενο της μελέτης	1
1.2 Σκοπός της εργασίας	1
1.3 Αιωρούμενα σωματίδια – Σωματιδιακοί ρύποι	2
1.4 Διοξείδιο του Θείου	3
1.5 Οξείδια του Αζώτου	4
1.6 Μονοξείδιο του άνθρακα	5
1.7 Θόρυβος	5
1.8 Νομοθεσία	6
1.8.1 Ευρωπαϊκοί Κανονισμοί	6
1.8.2 MARPOL 73/78	7
2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	11
3 Περιγραφή περίπτωσης μελέτης	22
3.1 Γενικές πληροφορίες για το λιμάνι	22
3.2 Ιστορική Αναδρομή	23
3.3 Δραστηριότητες στο χώρο του λιμανιού	24
3.4 Υπηρεσίες Εξυπηρέτησης	25
4 Μεθοδολογία	26
4.1 Περιγραφή συστήματος μελέτης	26
4.2 Όργανα μετρήσεων	27
4.2.1 Kestrel 4500NV	27
4.2.2 Mastech MS6701	28
4.2.3 MX6 iBRID Six-gas monitor	28
4.2.4 DustTrak DRX 8534	29
4.3 Πρωτόκολλο μετρήσεων – Χρονοδιάγραμμα	30
4.4 Μεθοδολογία επεξεργασίας των μετρήσεων	32
5 Αποτελέσματα	34
5.1 Κλιματικά δεδομένα	34

5.2	Αιωρούμενα σωματίδια	39
5.2.1	Πίνακες.....	39
5.2.2	Μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων	40
5.2.3	Διάμεσες τιμές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων	41
5.2.4	Θηκογράμματα των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων	42
5.3	Επίπεδα θορύβου	51
5.4	Συσχέτιση αιωρούμενων σωματιδίων με τον αριθμό επιβατών και οχημάτων	52
6	Συζήτηση	55
7	Συμπεράσματα.....	56
7.1	Ανάλυση αποτελεσμάτων	56
7.2	Προτάσεις για το μέλλον και προτεινόμενες λύσεις	57
8	Βιβλιογραφία	59
9	Παράρτημα.....	63
9.1	Δομή υπολογιστικών φύλλων Excel.....	63
9.2	Χρονοσειρές μετρήσεων PM ₁₀ και PM _{2.5}	66
9.3	Ιστογράμματα συχνοτήτων PM ₁₀ και PM _{2.5}	72

Περίληψη

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία γίνεται εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη φορτοεκφόρτωση πλοίων στον λιμένα της Σούδας. Το πρόβλημα της βιωσιμότητας των λιμένων δεν εμφανίστηκε πρόσφατα. Σύμφωνα με τη περιβαλλοντική έκθεση του ESPO το 2020, από το 2013 και μετά η ποιότητα του αέρα αποτελεί την ύψιστη προτεραιότητα των Ευρωπαϊκών λιμένων. Σκοπός της μελέτης είναι η αξιολόγηση της ποιότητας του αέρα και της ηχορύπανσης του λιμένα.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η αξιολόγηση, δημιουργήθηκε ένα πρωτόκολλο μετρήσεων για τη συλλογή δεδομένων των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων($PM_{2.5}$, PM_{10}), αέριων ρύπων(CO , CO_2 , NO , NO_2), του επιπέδου θορύβου(dB), των κλιματικών δεδομένων και της επιβατικής κίνησης του λιμένα. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε σημείο εντός του λιμένα κατά την άφιξη και αναχώρηση των πλοίων για τρεις εποχές(Χειμώνα, Άνοιξη, Καλοκαίρι) του 2021. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα συλλέχθηκαν σε τρεις ημέρες της εβδομάδας, για δύο εβδομάδες ανά εποχή. Το χρονικό διάστημα της εκάστοτε μέτρησης ήταν μία ώρα. Από την επεξεργασία των αριθμητικών δεδομένων των μετρήσεων κατασκευάστηκαν διαγράμματα διασποράς, box-plots και συνδυαστικά διαγράμματα.

Από την ανάλυση των διαγραμμάτων, προκύπτουν τα συμπεράσματα για τη ποιότητα του αέρα και του θορύβου. Οι συγκεντρώσεις των σωματιδιακών ρύπων για όλες τις εποχές ήταν εντός των ορίων που ορίζει η νομοθεσία. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση καταγράφηκε κατά τη θερινή περίοδο, όπου ο λιμένας σημειώνει μεγάλη επιβατική κίνηση. Όσο για τα επίπεδα θορύβου ξεπέρασαν τις οριακές τιμές της νομοθεσίας την Άνοιξη και το Καλοκαίρι. Τα κλιματικά δεδομένα ήταν φυσιολογικά για την εποχή τους. Τέλος, προτείνονται λύσεις για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και τη μείωση του επιπέδου θορύβου.

Abstract

This thesis assesses the environmental impact of ship loading and unloading in the port of Souda. The problem of port sustainability has not arisen recently. According to the ESPO environmental report in 2020, from 2013 onwards air quality is the highest priority of European ports. The purpose of the study is to evaluate the air quality and noise pollution of the port.

In order to carry out the evaluation, a measurement protocol was created to collect data on the concentrations of particulate matter ($PM_{2.5}$, PM_{10}), gaseous pollutants (CO, CO_2 , NO, NO_2), noise level (dB), climate data and passenger traffic of the port. The measurements were carried out at a point within the port on the arrival and departure of ships for three seasons (Winter, Spring, Summer) of 2021. Specifically, the data were collected three days a week, for two weeks per season. The duration of each measurement was one hour. From the processing of the numerical data of the measurements, scatter diagrams, box-plots and combination diagrams were constructed.

From the analysis of the diagrams, conclusions are drawn about air quality and noise. Concentrations of particulate pollutants for all seasons were within the limits set by law. The highest concentration was recorded during the summer season, when the port has a large passenger traffic. As for the noise levels, they exceeded the limit values of the legislation in Spring and Summer. Climate data range was normal for the period measured. Finally, solutions are proposed to improve air quality and reduce noise levels.

Συντομογραφίες

IMO, International Maritime Organization

SO₂, διοξείδιο του θείου

SO₃, τριοξείδιο του θείου

SO_x, οξείδια του θείου

CO, μονοξείδιο του άνθρακα

CO₂, διοξείδιο του άνθρακα

NO_x, οξείδια του αζώτου

NO, μονοξείδιο του αζώτου

NO₂, διοξείδιο του αζώτου

PM_{2.5}, Α.Σ.2.5, αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των 2.5μm

PM₁₀, Α.Σ.10, αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των 10μm

Pb, μόλυβδος

As, αρσενικό

Cd, κάδμιο

dB, decibel

ΕΕ, Ευρωπαϊκή Ένωση

MEPC, Marine Environment Protection Committee

EEDI, Energy Efficiency Design Index

SEEMP, Ship Energy Efficiency Plan

H₂SO₃, θειώδες οξύ

H₂SO₄, θειικό οξύ

ΟΗΕ, Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών

ESPO, European Sea Ports Organization

ECAs, Emission Control Areas

ΕΟΠ, Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος

EEA, European Environment Agency

EMEP, European Monitoring and Evaluation Programme

ΑΠΕ, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

SEMS, Smart Energy Management System

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1:Οριακές τιμές συγκεντρώσεων ατμοσφαιρικών ρύπων[ypen.gov.gr,n.d.].....	7
Πίνακας 1.2:Παραρτήματα της MARPOL[imo.org,n.d.].....	8
Πίνακας 1.3:Όρια NO _x για τους κινητήρες των πλοίων[imo.org,n.d.-e].....	9
Πίνακας 4.1: Χρονοδιάγραμμα μετρήσεων Χειμώνα	30
Πίνακας 4.2: Χρονοδιάγραμμα μετρήσεων Άνοιξης.....	31
Πίνακας 4.3: Χρονοδιάγραμμα μετρήσεων Καλοκαιριού	32
Πίνακας 5.1: Κλιματικά δεδομένα αφίξεων Χειμώνα.....	34
Πίνακας 5.2:Κλιματικά δεδομένα αφίξεων Άνοιξης	34
Πίνακας 5.3: Κλιματικά δεδομένα αφίξεων Καλοκαιριού.....	34
Πίνακας 5.4: Κλιματικά δεδομένα αναχωρήσεων Χειμώνα	34
Πίνακας 5.5: Κλιματικά δεδομένα αναχωρήσεων Άνοιξης	35
Πίνακας 5.6:Κλιματικά δεδομένα αναχωρήσεων Καλοκαιριού	35
Πίνακας 5.7: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων Χειμώνα - Αφίξεις.....	39
Πίνακας 5.8:Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων Άνοιξης - Αφίξεις	39
Πίνακας 5.9:Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων Καλοκαιριού - Αφίξεις	39
Πίνακας 5.10:Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων Χειμώνα - Αναχωρήσεις	39
Πίνακας 5.11:Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων Άνοιξης - Αναχωρήσεις.....	40
Πίνακας 5.12:Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων Καλοκαιριού - Αναχωρήσεις	40
Πίνακας 5.13: Αριθμητικά δεδομένα Διαγράμματος 5.11	43
Πίνακας 5.14:Αριθμητικά δεδομένα Διαγράμματος 5.12	44
Πίνακας 5.15:Αριθμητικά δεδομένα Διαγράμματος 5.13	45
Πίνακας 5.16:Αριθμητικά δεδομένα Διαγράμματος 5.14	46
Πίνακας 5.17: Επίπεδα θορύβου κατά την άφιξη του πλοίου	51
Πίνακας 5.18:Επίπεδα θορύβου κατά την αναχώρηση του πλοίου.....	51
Πίνακας 5.19: Επιβατική κίνηση του λιμένα της Σούδας	52
Πίνακας 5.20: Συντελεστές συσχέτισης συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων με την επιβατική κίνηση.....	54

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 5.1:Εποχιακή διακύμανση μέσης τιμής της θερμοκρασίας κατά την άφιξη.....	35
Διάγραμμα 5.2:Εποχιακή διακύμανση μέσης τιμής της θερμοκρασίας κατά την αναχώρηση	36
Διάγραμμα 5.3:Εποχιακή διακύμανση μέσης τιμής της σχετικής υγρασίας κατά την άφιξη	36
Διάγραμμα 5.4:Εποχιακή διακύμανση μέσης τιμής της σχετικής υγρασίας κατά την αναχώρηση	37
Διάγραμμα 5.5:Εποχιακή διακύμανση μέσης τιμής της ταχύτητας του ανέμου κατά την άφιξη...	37
Διάγραμμα 5.6:Εποχιακή διακύμανση μέσης τιμής της ταχύτητας του ανέμου κατά την αναχώρηση	38
Διάγραμμα 5.7:Εποχιακή διακύμανση μέσης τιμής PM_{10}	40
Διάγραμμα 5.8:Εποχιακή διακύμανση μέσης τιμής $PM_{2.5}$	41
Διάγραμμα 5.9:Εποχιακή διακύμανση της διάμεσης(median) τιμής PM_{10}	41
Διάγραμμα 5.10:Εποχιακή διακύμανση της διάμεσης(median) τιμής $PM_{2.5}$	42
Διάγραμμα 5.11:Boxplot συγκεντρώσεων PM_{10} κατά την άφιξη	43
Διάγραμμα 5.12:Boxplot συγκεντρώσεων PM_{10} κατά την αναχώρηση	44
Διάγραμμα 5.13:Boxplot συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$ κατά την άφιξη	45
Διάγραμμα 5.14:Boxplot συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$ κατά την αναχώρηση.....	46
Διάγραμμα 5.15:Boxplot PM_{10} - Δευτέρα κατά την άφιξη	47
Διάγραμμα 5.16:Boxplot PM_{10} - Τετάρτη κατά την άφιξη	47
Διάγραμμα 5.17:Boxplot PM_{10} - Τετάρτη κατά την αναχώρηση	48
Διάγραμμα 5.18:Boxplot PM_{10} - Παρασκευή κατά την αναχώρηση.....	48
Διάγραμμα 5.19:Boxplot $PM_{2.5}$ - Δευτέρα κατά την άφιξη.....	49
Διάγραμμα 5.20:Boxplot $PM_{2.5}$ - Τετάρτη κατά την άφιξη	49
Διάγραμμα 5.21:Boxplot $PM_{2.5}$ - Τετάρτη κατά την αναχώρηση.....	50
Διάγραμμα 5.22:Boxplot $PM_{2.5}$ - Παρασκευή κατά την αναχώρηση	50
Διάγραμμα 5.23:Μέση τιμή $L_{eq,1h}$ κατά την άφιξη του πλοίου	51
Διάγραμμα 5.24:Μέση τιμή $L_{eq,1h}$ κατά την αναχώρηση του πλοίου	52
Διάγραμμα 5.25:Συνδυαστικό διάγραμμα αριθμού επιβατών/οχημάτων και συγκεντρώσεων PM κατά την άφιξη	53
Διάγραμμα 5.26:Συνδυαστικό διάγραμμα αριθμού επιβατών/οχημάτων και συγκεντρώσεων PM κατά την αναχώρηση	53
Διάγραμμα 9.1:Χρονοσειρά μετρήσεων PM_{10} χειμώνα κατά την άφιξη του πλοίου.....	66
Διάγραμμα 9.2:Χρονοσειρά μετρήσεων PM_{10} χειμώνα κατά την αναχώρηση του πλοίου	66
Διάγραμμα 9.3:Χρονοσειρά μετρήσεων PM_{10} άνοιξης κατά την άφιξη του πλοίου.....	67
Διάγραμμα 9.4:Χρονοσειρά μετρήσεων PM_{10} άνοιξης κατά την αναχώρηση του πλοίου	67
Διάγραμμα 9.5:Χρονοσειρά μετρήσεων PM_{10} καλοκαιριού κατά την άφιξη του πλοίου	68
Διάγραμμα 9.6:Χρονοσειρά μετρήσεων PM_{10} καλοκαιριού κατά την αναχώρηση του πλοίου	68
Διάγραμμα 9.7:Χρονοσειρά μετρήσεων $PM_{2.5}$ χειμώνα κατά την άφιξη του πλοίου	69
Διάγραμμα 9.8:Χρονοσειρά μετρήσεων $PM_{2.5}$ χειμώνα κατά την αναχώρηση του πλοίου	69
Διάγραμμα 9.9:Χρονοσειρά μετρήσεων $PM_{2.5}$ άνοιξης κατά την άφιξη του πλοίου	70
Διάγραμμα 9.10:Χρονοσειρά μετρήσεων $PM_{2.5}$ άνοιξης κατά την αναχώρηση του πλοίου	70
Διάγραμμα 9.11:Χρονοσειρά μετρήσεων $PM_{2.5}$ καλοκαιριού κατά την άφιξη του πλοίου	71
Διάγραμμα 9.12:Χρονοσειρά μετρήσεων $PM_{2.5}$ καλοκαιριού κατά την αναχώρηση του πλοίου ..	71
Διάγραμμα 9.13:Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων PM_{10} χειμώνα κατά την άφιξη του πλοίου	72
Διάγραμμα 9.14:Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων PM_{10} χειμώνα κατά την αναχώρηση του πλοίου..	72
Διάγραμμα 9.15:Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων PM_{10} άνοιξης κατά την άφιξη του πλοίου	73
Διάγραμμα 9.16:Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων PM_{10} άνοιξης κατά την αναχώρηση του πλοίου ...	73
Διάγραμμα 9.17:Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων PM_{10} καλοκαιριού κατά την άφιξη του πλοίου	74

Διάγραμμα 9.18:Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων PM ₁₀ καλοκαιριού κατά την αναχώρηση του πλοίου	74
Διάγραμμα 9.19:Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων PM _{2.5} χειμώνα κατά την άφιξη του πλοίου	75
Διάγραμμα 9.20:Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων PM _{2.5} χειμώνα κατά την αναχώρηση του πλοίου ..	75
Διάγραμμα 9.21:Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων PM _{2.5} άνοιξης κατά την άφιξη του πλοίου	76
Διάγραμμα 9.22:Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων PM _{2.5} άνοιξης κατά την αναχώρηση του πλοίου ..	76
Διάγραμμα 9.23:Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων PM _{2.5} καλοκαιριού κατά την άφιξη του πλοίου	77
Διάγραμμα 9.24:Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων PM _{2.5} καλοκαιριού κατά την αναχώρηση του πλοίου	77

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1:Εξέλιξη των προτεραιοτήτων των Ευρωπαϊκών λιμένων[EcoPorts.com,n.d.]	2
Εικόνα 1.2:Σύγκριση των μεγεθών των Α.Σ.[epa.gov,n.d.]	3
Εικόνα 2.1:Διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων των ρύπων κατά τις διάφορες λειτουργίες των πλοίων [Merico et al,2016]	11
Εικόνα 2.2:Χάρτες μέσης ετήσιας συγκέντρωσης[μg/m ³], NO ₂ πάνω, SO ₂ κάτω[Murena et al, 2018]	12
Εικόνα 2.3:Ημερήσια διακύμανση των PM ₁₀ για μία καθημερινή μέρα στη Μυτιλήνη[Fameli et al., 2020].....	13
Εικόνα 2.4:Κατανομή των εκπομπών ανάλογα με την εποχή και το είδος ρύπου.[Tzannatos, 2010]	14
Εικόνα 2.5:Συνολικές ετήσιες εκπομπές καυσαερίων κατά τη λειτουργία των πλοίων.[Saraçoğlu et al., 2013].....	15
Εικόνα 2.6:Τριγωνική ανάλυση μεταξύ των μέγιστων εκπομπών eBC και SO ₂ . [Gobbi, 2020].....	17
Εικόνα 2.7:Μέσες συγκεντρώσεις PM ₁₀ στην ευρύτερη περιοχή Αθηνών[Δρακούλας, 2017].....	18
Εικόνα 2.8:Διάγραμμα EATM των προτεινόμενων τεχνολογιών και τεχνικών[Sifakis&Tsoutsos,2021]	19
Εικόνα 2.9:Αποτελέσματα της έρευνας ανά ομάδα ερωτηθέντων[Argyriou et al, 2021]	20
Εικόνα 3.1:Άποψη του λιμένα της Σούδας[kriti24.gr,n.d.]	22
Εικόνα 3.2:Ναύσταθμος Σούδας 1900[Ναυτοπρόσκοποι Σούδας,n.d.].....	24
Εικόνα 3.3:Εγκαταστάσεις Μύλοι Κρήτης Α.Ε.[mills.gr,n.d.]	25
Εικόνα 3.4:Χάρτης λιμένα Σούδας[soudaport.gr,n.d.].....	26
Εικόνα 4.1:Σημείο δειγματοληψίας[Google,n.d.].....	27
Εικόνα 4.2:Kestrel 4500NV[kestrelmeters.com,n.d.].....	27
Εικόνα 4.3:MS6701[mastech-group.com,n.d.]	28
Εικόνα 4.4:MX6 iBRID[indsci.com,n.d.].....	29
Εικόνα 4.5:DRX 8534[tsi.com,n.d.].....	30
Εικόνα 9.1:Δομή υπολογιστικού φύλλου Excel – Καταγραφή μετρήσεων κλιματικών δεδομένων και ρύπων	63
Εικόνα 9.2:Δομή υπολογιστικού φύλλου Excel - Καταγραφή μετρήσεων αιωρούμενων σωματιδίων	64
Εικόνα 9.3: Δομή υπολογιστικού φύλλου Excel – Καταγραφή μετρήσεων θορύβου	65

1 Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο της μελέτης

Ως αντικείμενο μελέτης της εργασίας ορίστηκε ο λιμένας της Σούδας του νομού Χανίων. Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκαν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τη φόρτωση και εκφόρτωση των πλοίων. Ο λιμένας εξετάστηκε ως προς το ατμοσφαιρικό ρυπαντικό φορτίο που εκλύεται από τα μηχανοκίνητα μέσα που κινούνται εντός του χώρου του, δηλαδή από τα πλοία και τα οχήματα. Επίσης έγινε μια αξιολόγηση του θορύβου που παράγεται από τα μέσα αυτά. Προκειμένου να υπάρξει ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις κατά τους χειμερινούς, ανοιξιάτικους και καλοκαιρινούς μήνες όπου η επιβατική κίνηση του λιμένα διαφέρει ανά εποχή. Οι μετρήσεις περιλάμβαναν τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής δηλαδή τη θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου, τις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων και αέριων ρύπων(CO,CO₂,NO,NO₂). Έστερα από τη κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων και από τις διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων που παρατηρούνται ανά εποχή εξάγονται συμπεράσματα για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που επιφέρει ο λιμένας τόσο στην ποιότητα του αέρα της περιοχής όσο και στο ακουστικό περιβάλλον.

1.2 Σκοπός της εργασίας

Το πρόβλημα της βιωσιμότητας των λιμένων δεν εμφανίστηκε πρόσφατα. Το 1994 ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Λιμένων (ESPO – European Sea Ports Organization) εξέδωσε έναν κώδικα πρακτικής(Code of Practice) για την περιβαλλοντική πολιτική των λιμένων. Αυτός ο κώδικας ανταποκρίθηκε στο αυξανόμενο ενδιαφέρον για την αποτελεσματική περιβαλλοντική διαχείριση στον ναυτιλιακό τομέα για να αντιμετωπίσει τις προκλήσεις των όλο και αυστηρότερων ευρωπαϊκών κανονισμών. Ωστόσο, ήταν σαφές ότι η ανταλλαγή εμπειριών μεταξύ των διαχειριστικών αρχών των λιμένων θα ήταν επιθυμητή πρακτική προκειμένου να είναι πιο αποδοτική η ανάπτυξη νέων περιβαλλοντικών πολιτικών για μεμονωμένους λιμένες. Έτσι, το 1994 μια ομάδα επτά λιμένων πήρε τη πρωτοβουλία να ξεκινήσει ένα συνεργατικό ερευνητικό έργο για τη βελτίωση της ανταλλαγής πληροφοριών σχετικά με τα περιβαλλοντικά ζητήματα των λιμένων, το πλάνο του έργου κατατέθηκε στην Ευρωπαϊκή επιτροπή το 1996 και έλαβε έγκριση το 1997. Με αυτή τη πρωτοβουλία δημιουργήθηκε το δίκτυο λιμένων EcoPorts και από το 2011 έχει ενταχθεί πλήρως στον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Λιμένων. Η θεμελιώδης αρχή του δικτύου λιμένων είναι η δημιουργία ίσων όρων ανταγωνισμού(level playing field) για το περιβάλλον μέσω της συνεργασίας και της ανταλλαγής γνώσεων μεταξύ των μελών του.

Ο ESPO πραγματοποιεί και εκδίδει περιβαλλοντικές εκθέσεις οι οποίες αναλύουν την περιβαλλοντική απόδοση των Ευρωπαϊκών λιμένων, οι οποίες από το 2016 και μετά γίνονται ετήσια. Από το 2013 η ποιότητα του αέρα αποτελεί την κύρια προτεραιότητα των λιμένων, το οποίο οφείλεται στην εισαγωγή νέας και αυστηρότερης νομοθεσίας αλλά και ως πρωτεύων θέμα ανησυχίας των κατοίκων που διαμένουν κοντά στους λιμένες και σε αστικές περιοχές γενικότερα. Σύμφωνα με την περιβαλλοντική έκθεση του 2020[Εικόνα 1.1.], η ποιότητα του αέρα εξακολουθεί να είναι στην 1^η θέση αλλά στην 4^η θέση έχει ανεβεί η ηχορύπανση – θόρυβος το οποίο αποτελεί πρόβλημα στην τοπική κοινωνία.[EcoPorts.com, n.d.]

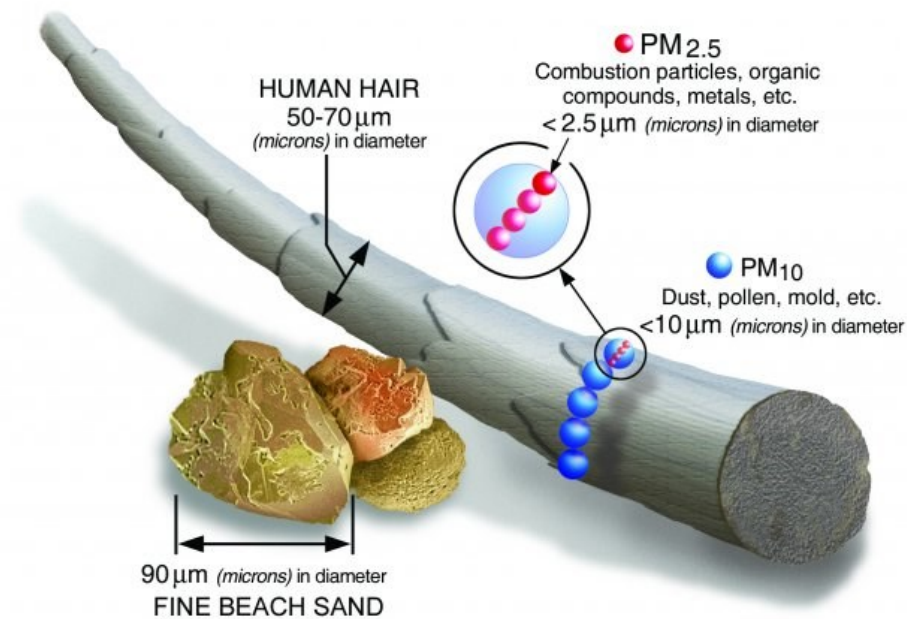
1996	2004	2009	2013	2016	2017	2018	2019	2020
Port development (water)	Garbage/ Port waste	Noise	Air quality	Air quality	Air quality	Air quality	Air quality	Air quality
Water quality	Dredging operations	Air quality	Garbage/ Port waste	Energy consumption	Energy consumption	Energy consumption	Energy consumption	Climate change
Dredging disposal	Dredging disposal	Garbage/ Port waste	Energy consumption	Noise	Noise	Noise	Climate change	Energy efficiency*
Dredging operations	Dust	Dredging operations	Noise	Relationship with the local community	Water quality	Relationship with the local community	Noise	Noise
Dust	Noise	Dredging disposal	Ship waste	Garbage/ Port waste	Dredging operations	Ship waste	Relationship with the local community	Relationship with the local community
Port development (land related)	Air quality	Relationship with the local community	Relationship with the local community	Ship waste	Garbage/ Port waste	Port development (land related)	Ship waste	Ship waste
Contaminated land	Hazardous cargo	Energy consumption	Dredging operations	Port development (land related)	Port development (land related)	Climate change	Garbage/ Port waste	Water quality
Habitat loss/ degradation	Bunkering	Dust	Dust	Water quality	Relationship with the local community	Water quality	Port development (land related)	Garbage/ Port waste
Traffic volume	Port development (land related)	Port development (water)	Port development (land related)	Dust	Ship waste	Dredging operations	Dredging operations	Dredging operations
Industrial effluent	Ship discharge (bilge)	Port development (land related)	Water quality	Dredging operations	Climate change	Garbage/ Port waste	Water quality	Port development (land related)

Εικόνα 1.1:Εξέλιξη των προτεραιοτήτων των Ευρωπαϊκών λιμένων[EcoPorts.com,n.d.]

1.3 Αιωρούμενα σωματίδια – Σωματιδιακοί ρύποι

«Ως αιωρούμενα σωματίδια ονομάζουμε τα στερεά ή υγρά σωματίδια που βρίσκονται στον αέρα και έχουν διαμέτρους που κυμαίνονται από 2 nm μέχρι 200 μm. Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν μεταβαλλόμενη χημική σύσταση, σχήμα και μέγεθος.»[Λαζαρίδης, 2016, όπως αναφέρεται στο Finlayson-Pitts&Pitts, 2000] Είναι ικανά όταν βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις να μεταβάλουν το μπλε χρώμα του ουρανού, λόγω της σκέδασης, σε λευκό ή γκριζο ενώ αν τα σωματίδια προέρχονται από ερήμους(π.χ. Σαχάρα) προκαλούν μια καφέ – κόκκινη απόχρωση.[ΥΠΕΝ, n.d.]

Τα σωματίδια αυτά παρατηρούνται σε διάφορα μεγέθη και σχήματα[Εικόνα 1.2.] και μπορούν να αποτελούνται από εκατοντάδες διαφορετικές χημικές ουσίες. Ορισμένα εκπέμπονται απευθείας από κάποια πηγή, όπως τα εργοτάξια κατασκευών, οι πυρκαγιές και από τις καπνοδόχους εργοστασίων , πλοίων κλπ. Όμως , τα περισσότερα σωματίδια σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα των χημικών αντιδράσεων από τις ενώσεις όπως είναι τα SO_x και NO_x, τα οποία είναι ρύποι προερχόμενοι από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, της βιομηχανίας και αυτοκινήτων.



Εικόνα 1.2: Σύγκριση των μεγεθών των Α.Σ. [epa.gov, n.d.]

Ανάλογα τη διάμετρο τους τα σωματίδια εμφανίζουν και διαφορετική επικινδυνότητα για την ανθρώπινη υγεία. Σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των 10 μm είναι δυνατό να εισπνευσθούν από το αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου όπου ορισμένα μπορούν να εισχωρήσουν στους πνεύμονες και να φράξουν τις κυψελίδες. Τα σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των 2.5 μm αποτελούν την πιο επικίνδυνη κατηγορία, μιας και δε μπορούν να κατακρατηθούν από το ρινικό σύστημα και πάνε απευθείας στους πνεύμονες και φράζουν τις κυψελίδες, όπου στην συνέχεια οι περιεχόμενες τοξικές ενώσεις που αποτελούνται μπορούν να εισέλθουν στη κυκλοφορία αίματος και να προκαλέσουν σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα με τη πάροδο του χρόνου. Επειδή αυτές οι δύο κατηγορίες μεγεθών αποτελούν τον μεγαλύτερο υγειονομικό κίνδυνο, στη νομοθεσία τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν κατηγοριοποιηθεί σε δύο κατηγορίες: [epa.gov, n.d.]

- PM_{10} : εισπνεόμενα σωματίδια με διάμετρο μικρότερης των 10 μικρομέτρων και
- $\text{PM}_{2.5}$: λεπτά εισπνεόμενα σωματίδια, με διάμετρο που είναι μικρότερης των 2.5 μικρομέτρων.

1.4 Διοξείδιο του Θείου

Το διοξείδιο του θείου (SO_2) αποτελεί ένα από τους κυριότερους και χαρακτηριστικούς ρύπους που εμφανίζεται κυρίως σε αστικές περιοχές. Είναι ένα αέριο άχρωμο και άοσμο σε χαμηλές συγκεντρώσεις ενώ σε υψηλότερες συγκεντρώσεις έχει μια δυσάρεστη και ερεθιστική οσμή. Διαλύεται με τη βοήθεια της ατμοσφαιρικής υγρασίας και μετατρέπεται σε H_2SO_3 ενώ στον ξηρό αέρα οξειδώνεται σε SO_3 το οποίο έπειτα μετατρέπεται σε H_2SO_4 , το οποίο αποτελεί ένα από τα συστατικά της όξινης βροχής.

Οι πηγές εκπομπής SO_2 μπορεί να είναι φυσικές αλλά και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Φυσικές πηγές εκπομπής είναι οι εκρήξεις των ηφαιστειών και οι πυρκαγιές. Από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, οι μεγαλύτερες ποσότητες παράγονται κατά τη καύση ορυκτών καυσίμων, που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις θείου, όπως οι

σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και άλλες διάφορες βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Μικρότερες πηγές εκπομπών αποτελούν βιομηχανικές διαδικασίες όπως η εξαγωγή μετάλλου από τα ορυκτά, οι ατμομηχανές, τα πλοία και τα αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν καύσιμα που περιέχουν θείο.[epa.gov,n.d.]

Όσον αφορά τις επιπτώσεις του στην ανθρώπινη υγεία, έκθεση μικρής διάρκειας στο SO_2 μπορεί να προκαλέσει βλάβες στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα και να προκαλέσει δυσκολία στην αναπνοή. Πιο έντονα φαινόμενα δύσπνοιας παρατηρούνται σε άτομα που πάσχουν από άσθμα και παιδιά. Παρατεταμένη και μακροχρόνια έκθεση σε SO_2 σε συνδυασμό με αιωρούμενα σωματίδια, έχει συνδεθεί με πρόκληση αναπνευστικών παθήσεων, μεταβολές στην άμυνα των πνευμόνων και επιδείνωση καρδιαγγειακών παθήσεων.

Στο φυσικό περιβάλλον, υψηλές συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου μπορούν να βλάψουν τα δέντρα και τα φυτά καταστρέφοντας το φύλλωμα τους και να μειώσει την ανάπτυξη τους. Επίσης ο συνδυασμός του SO_2 και των NO_x προκαλεί το φαινόμενο της όξινης βροχής, όπου έχει ως αποτέλεσμα την όξυνση των διαφόρων φυσικών οικοσυστημάτων όπως το έδαφος τις λίμνες και τα ποτάμια, τη διάβρωση κτιρίων και μνημείων. Τέλος, μπορεί να αντιδράσει με άλλες χημικές ενώσεις στην ατμόσφαιρα και να σχηματίσουν λεπτά αιωρούμενα σωματίδια τα οποία μειώνουν την ορατότητα.[Σπανδωνίδου,2018]

1.5 Οξείδια του Αζώτου

Τα οξείδια του αζώτου(NO_x) είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για το μείγμα των αερίων που αποτελούνται από άζωτο και οξυγόνο. Τα πιο κοινά NO_x είναι το NO_2 και NO , τα οποία ευθύνονται για την ρύπανση της ατμόσφαιρας. Παράγονται κατά τη διάρκεια καύσης ορυκτών καυσίμων, όπως η βενζίνη και το πετρέλαιο, σε μηχανές εσωτερικής καύσης(αυτοκίνητα, πλοία κ.α.), σε βιομηχανίες αλλά και οικιακά συστήματα θέρμανσης(λέβητες πετρελαίου). Σε συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας το άζωτο αντιδράει με το οξυγόνο και παράγονται τα οξείδια του αζώτου. [Σπανδωνίδου,2018]

Από τις δύο αυτές ενώσεις, πιο τοξικό είναι το NO_2 το οποίο είναι αέριο με κόκκινο-καφέ χρώμα και έντονη οσμή σε αντίθεση με το NO που είναι άχρωμο και άοσμο. Έκθεση μικρής διάρκειας είναι πιθανό να προκαλέσει ερεθισμό στα μάτια και δυσλειτουργίες στο αναπνευστικό και βρογχικό σύστημα ενώ χρόνια έκθεση να προκαλέσει μόνιμη βλάβη του αναπνευστικού συστήματος, όπως φλεγμονή των αεραγωγών και αυξημένα περιστατικά εμφάνισης οξέων συμπτωμάτων άσθματος σε ήδη παθόντες.[Πατέστος,2016]

Τα NO_x προκαλούν σοβαρές οικολογικές επιπτώσεις, αφού μαζί με το SO_2 προκαλούν το φαινόμενο της όξινης βροχής, η οποία προκαλεί σοβαρές βλάβες στα ευαίσθητα οικοσυστήματα όπως τα δάση και οι λίμνες. Συμβάλλει επίσης στο σχηματισμό φωτοχημικού νέφους(smog) μαζί με το CO και το όζον, περιορίζοντας την ορατότητα αλλά πιο σοβαρές συνέπειες έχει στην ανθρώπινη υγεία, αφού μπορεί να προκαλέσει ασθένειες όπως το άσθμα, η βρογχίτιδα και το εμφύσημα. Τέλος, οι υψηλές συγκεντρώσεις του στην ατμόσφαιρα προκαλούν ρύπανση θρεπτικών συστατικών στα επιφανειακά νερά, αφού συμβάλλει στο φαινόμενο του ευτροφισμού.[epa.gov,n.d.]

1.6 Μονοξείδιο του άνθρακα

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι ένα τοξικό αέριο άχρωμο και άοσμο. Είναι τοξικό για τους ανθρώπους και τα ζώα που έχουν αιμοσφαιρίνη, ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις (~1000ppm). Παράγεται από τη μερική οξείδωση ανθρακούχων ενώσεων ή και στοιχειακού άνθρακα. Δηλαδή, κατά την ατελή καύση όπου δεν υπάρχει αρκετό οξυγόνο για να παραχθεί διοξείδιο του άνθρακα όπως συμβαίνει στις μηχανές εσωτερικής καύσης. Κύριες πηγές εκπομπής του CO αποτελούν τα αυτοκίνητα, τα φορτηγά, τα πλοία και άλλες μηχανές που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα. Είναι αναφλέξιμο με τη παρουσία οξυγόνου, όπου παράγεται διοξείδιο του άνθρακα και δίνει μια μπλε φλόγα. [Thompson, 2017]

Η τοξική του δράση οφείλεται στη χημική συγγένεια που έχει με την αιμοσφαιρίνη (Hb), η οποία περιέχεται στα ερυθρά αιμοσφαίρια και μεταφέρει το οξυγόνο από τους πνεύμονες στα κύτταρα του σώματος και το CO₂ στους πνεύμονες. Κατά την εισπνοή του δε προκαλεί κάποιο ερεθισμό στο αναπνευστικό σύστημα και σε συνδυασμό με την απώλεια οσμής της ουσίας, καθιστώντας το άκρως επικίνδυνο για τον άνθρωπο αφού δεν γίνεται αντιληπτό ώστε να απομακρυνθεί εγκαίρως από το χώρο και οδηγεί σε μεγάλη πιθανότητα θνησιμότητας. Τα συμπτώματα της δηλητηρίασης του ανθρώπου από CO είναι: κεφαλαλγία, ζάλη και ναυτία, καταρροή, δύσπνοια, εξάντληση, ταχυκαρδία, πόνος στο στήθος, λιποθυμία και τέλος ο θάνατος από ασφυξία. Το χρονικό διάστημα, η ταχύτητα διαδοχής τους και η ικανότητα της ποσότητας του CO που μπορεί να οδηγήσει στο θάνατο εξαρτάται από τη συγκέντρωση του αλλά και το χρόνο έκθεσης του ατόμου σε αυτό. [Μοσχόπουλος, 2016]

1.7 Θόρυβος

Ήχος είναι η μεταβολή της πίεσης του αέρα ή άλλου φέρον μέσου, που είναι ικανή να ερεθίσει την αίσθηση της ακοής και να γίνει αντιληπτή από τον άνθρωπο ενώ ο θόρυβος είναι ο ανεπιθύμητος, ενοχλητικός ή απλά δυσάρεστος για τον άνθρωπο ήχος. Τα δύο μεγέθη που χαρακτηρίζουν τον ήχο είναι η συχνότητα και η ένταση. Ως ένταση του ήχου ορίζεται το ποσό της ηχητικής ενέργειας που διέρχεται από τη μονάδα επιφάνειας στη μονάδα του χρόνου. Η στάθμη της έντασης του ήχου εκφράζεται σε decibel (dB) και ορίζεται ως το δεκαπλάσιο του δεκαδικού λογάριθμου του λόγου έντασης του ήχου που εξετάζουμε προς την ένταση ενός ήχου αναφοράς. [Μίντσης, 2014]

Ο θόρυβος είναι ένας σημαντικός παράγοντας υποβάθμισης της ποιότητας του περιβάλλοντος στην Ελλάδα και την Ευρώπη και επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα ζωής των ανθρώπων και των ζώων καθώς και την υγεία τους. Οι πιο σημαντικές πηγές θορύβου που υποβαθμίζουν το ακουστικό περιβάλλον είναι η κυκλοφορία των οχημάτων παντός είδους, οι βιομηχανικές και βιοτεχνικές εγκαταστάσεις και οι χώροι αναψυχής και διασκέδασης. Από έρευνες που έχουν διεξαχθεί, έδειξαν ότι ο θόρυβος έχει τις εξής επιπτώσεις:

- Όχληση
- Ακουστική βλάβη
- Προβλήματα ομιλίας
- Ψυχολογικές διαταραχές όπως υπέρταση και άγχος
- Διαταραχή του ύπνου
- Μειωμένη παραγωγικότητα του ανθρώπου στην εργασία του [Μίντσης, 2014]

Για τον προσδιορισμό του περιβαλλοντικού θορύβου χρησιμοποιούνται ακουστικοί δείκτες οι οποίοι περιέχονται σε σχετικά νομοθετήματα και διεθνώς αποδεκτές μεθοδολογίες αξιολόγησης. Ως περιβαλλοντικός θόρυβος ορίζεται ο ανεπιθύμητος ή επιβλαβής θόρυβος

στην ύπαιθρο που δημιουργείται από ανθρώπινες δραστηριότητες, από μεταφορικά μέσα, και βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Για την μέτρηση του περιβαλλοντικού θορύβου χρησιμοποιείται η κλίμακα A, η οποία δίνει έμφαση στις συχνότητες των 2000Hz, και η ένταση εκφράζεται σε dBA. Οι δείκτες αυτοί είναι στατιστικοί ή ποσοσομετρικοί με τη γενική μορφή L_n και εκφράζουν την ηχητική στάθμη η οποία ξεπερνιέται κατά ένα συγκεκριμένο $n\%$ ποσοστό μιας ορισμένης χρονικής περιόδου, με το n να κυμαίνεται από το 1% έως 99%. Συχνά χρησιμοποιούμενοι δείκτες είναι οι :

- L_{50} : Μέση στάθμη , όπου είναι η στάθμη του ήχου που έχει ξεπεραστεί στο 50% του χρόνου παρατήρησης.
- L_{10} : Μέση στάθμη κορυφής , όπου είναι η στάθμη του ήχου που έχει ξεπεραστεί στο 10% του χρόνου παρατήρησης.
- L_{90} : Μέση στάθμη θορύβου βάθους , όπου είναι η στάθμη του ήχου που έχει ξεπεραστεί στο 90% του χρόνου παρατήρησης.

Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος δείκτης για την αξιολόγηση του θορύβου είναι η ισοδύναμη συνεχής στάθμη ήχου L_{eq} , που εκφράζει τη συνεχή εκείνη στάθμη θορύβου η οποία σε ορισμένη χρονική περίοδο έχει το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο με αυτό του πραγματικού θορύβου, σταθερού ή μεταβαλλόμενου, κατά την ίδια περίοδο.

Η Ευρωπαϊκή οδηγία 2002/49/EC, η οποία ενσωματώθηκε στην Ελληνική νομοθεσία με την ΚΥΑ 13586/724 εισάγεται ο όρος του περιβαλλοντικού θορύβου. Στο άρθρο 5 της ΚΥΑ καθορίζονται ως δείκτες αξιολόγησης του περιβαλλοντικού θορύβου οι $L_{den}(L_{day-evening-night})$ και L_{night} . Τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια των ακουστικών δεικτών κυκλοφοριακού θορύβου έχουν οριστεί:

- $L_{10}(18h) = 70$ dBA
- $L_{eq}(08:00-20:00) = 67$ dBA

1.8 Νομοθεσία

Στην Ελλάδα έχουν νομοθετηθεί όρια και στόχοι για τους ρύπους SO_2 , NO_2 , CO, αιωρούμενα σωματίδια (μόνο για PM_{10} & $PM_{2.5}$), βενζόλιο , Pb, As, Cd, Ni και βενζο(α)πυρένιο σύμφωνα με τα όρια ποιότητας ατμόσφαιρας που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση με σκοπό την προστασία της ανθρώπινης υγείας καθώς και των οικοσυστημάτων.[ypen.gov.gr,n.d.] Στον ναυτιλιακό τομέα, μιας και η Ελλάδα είναι μέλος του Διεθνή Οργανισμού Ναυσιπλοΐας εφαρμόζει και συμμορφώνεται σύμφωνα με τη Διεθνή σύμβαση MARPOL 73/78 ωστόσο η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει επιπλέον κανονισμούς με σκοπό τον καλύτερο έλεγχο και την πιο αποτελεσματική καταπολέμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εντός των ορίων της.

1.8.1 Ευρωπαϊκοί Κανονισμοί

Η νομοθεσία που αφορά στην ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι η εξής[ypen.gov.gr,n.d.]:

- Οδηγία 2008/50/EK για την ποιότητα του αέρα, στην Ελλάδα τέθηκε σε ισχύ με το ΦΕΚ 488B/30.3.11 .
- Οδηγία 2004/107/EK σχετικά με το As, Cd, Hg, Ni και τους πολυκυκλικούς υδρογονάνθρακες στον ατμοσφαιρικό αέρα, στην Ελλάδα τέθηκε σε ισχύ με το ΦΕΚ 920B/8.6.07.

- Οδηγία 2015/1480/EK η οποία τροποποίησε ορισμένα παραρτήματα των οδηγιών 2004/107/EK και 2008/50/EK, σχετικά με τις μεθόδους αναφοράς, την επικύρωση των δεδομένων και την τοποθεσία των σημείων δειγματοληψίας για την εκτίμηση της ποιότητας του αέρα, στην Ελλάδα τέθηκε σε ισχύ με το ΦΕΚ1311Β/13.4.17.

Πίνακας 1.1:Οριακές τιμές συγκεντρώσεων ατμοσφαιρικών ρύπων[ypen.gov.gr,n.d.]

Περίοδος μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Επιτρεπόμενες υπερβάσεις ανά χρόνο
SO₂			
Μέση ωριαία τιμή	350 µg/m ³	150 µg/m ³	-
Μέση ημερήσια τιμή	125 µg/m ³	Ουδέν	-
NO₂			
Μέση ωριαία τιμή	200 µg/m ³	0%	18
Μέση ετήσια τιμή	40 µg/m ³	0%	-
CO			
Μέση ημερήσια 8ωρη τιμή	10 mg/m ³	60%	-
PM₁₀			
Μέση ημερήσια τιμή	50 µg/m ³	50%	35
Μέση ετήσια τιμή	40 µg/m ³	20%	-
PM_{2.5}			
Μέση ετήσια τιμή	25 µg/m ³	Ουδέν	-

Οι νομοθεσίες που αφορούν τις εκπομπές οξειδίων του θείου από τη ναυτιλία στην ΕΕ είναι η Οδηγία 2016/802/EC και περιέχει τα πιο πρόσφατα όρια για τη περιεκτικότητα σε θείο σε ορισμένα υγρά καύσιμα σύμφωνα με αυτά του παραρτήματος VI της MARPOL 73/78 , τα οποία θεσπίστηκαν με την Οδηγία 2012/33/EU η οποία τροποποίησε την Οδηγία 1999/32/EC.

1.8.2 MARPOL 73/78

Ο Διεθνής Οργανισμός Ναυσιπλοΐας (International Maritime Organization , IMO) είναι ένας εξειδικευμένος οργανισμός που είναι υπεύθυνος για τα μέτρα βελτίωσης της ασφάλειας της ναυσιπλοΐας και για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία. Ιδρύθηκε με σύμβαση που εγκρίθηκε υπό την αιγίδα του ΟΗΕ στη Γενεύη στις 17 Μαρτίου του 1948. Ο κύριος σκοπός του είναι η ανάπτυξη και η διατήρηση ενός ολοκληρωμένου κανονιστικού πλαισίου για τη ναυτιλία και οι αρμοδιότητες του μέχρι σήμερα περιλαμβάνουν την ασφάλεια, τα περιβαλλοντικά ζητήματα, νομικά θέματα , τεχνικά θέματα , ασφάλεια στη θάλασσα και την αποτελεσματικότητα της ναυτιλίας. [imo.org,n.d.-a]

Επειδή λειτουργεί υπό την αιγίδα του ΟΗΕ , ο IMO νομοθετεί ιδιαίτερα αυστηρές προδιαγραφές με ισχυρές δεσμεύσεις από τις χώρες-μέλη του. Οι εκδόσεις κανονισμών του, SOLAS(Safety of Life at Sea Convection) και MARPOL(International Convention for the Prevention of Pollution from Ship), η πρώτη αφορά την ασφάλεια στη ναυσιπλοΐα ενώ η δεύτερη την προστασία από τη ρύπανση στη θάλασσα. [imo.org,n.d.-b]

Η Διεθνής Σύμβαση για τη πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία, 1973 όπως τροποποιήθηκε από το πρωτόκολλο του 1978 (εν συντομία MARPOL 73/78) είναι μία από τις σημαντικότερες διεθνείς συμβάσεις του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Αναπτύχθηκε από τον IMO με στόχο την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης στους ωκεανούς και θάλασσες, συμπεριλαμβανομένου των θαλάσσιων απορριμμάτων, του πετρελαίου και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η σύμβαση υπογράφηκε στις 17 Φεβρουαρίου του 1973 και τέθηκε σε ισχύ μαζί με το πρωτόκολλο του 1978 στις 2 Οκτωβρίου του 1983. Μέχρι τον Σεπτέμβριο 2021, 160 κράτη αποτελούν μέλη της σύμβασης και συμβάλλουν στο 99.01% της παγκόσμιας ναυτιλιακής δυναμικότητας. [imo.org, 2021]

Η MARPOL χωρίζεται σε παραρτήματα όπως αναγράφεται στον παρακάτω πίνακα σύμφωνα με τις διάφορες κατηγορίες ρύπων και κάθε παράρτημα ρυθμίζει κάποια συγκεκριμένη ομάδα ρύπων. [imo.org, n.d.-c]

Πίνακας 1.2: Παραρτήματα της MARPOL [imo.org, n.d.]

Παράρτημα	Τίτλος	Ισχύει από
Παράρτημα I	Πρόληψη της ρύπανσης από το πετρέλαιο	2/2/1983
Παράρτημα II	Έλεγχος της ρύπανσης από επιβλαβείς υγρές ουσίες	6/4/1987
Παράρτημα III	Πρόληψη της ρύπανσης από επιβλαβείς ουσίες που μεταφέρονται δια θαλάσσης σε συσκευασμένη μορφή	1/7/1992
Παράρτημα IV	Ρύπανση από λύματα από τα πλοία	27/9/2003
Παράρτημα V	Ρύπανση από στερεά απόβλητα από τα πλοία	31/12/1988
Παράρτημα VI	Πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία	19/5/2005

MARPOL 73/78 Annex VI

Η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC), η οποία αποτελεί τμήμα του IMO, συνέταξε το 1997 το παράρτημα VI της MARPOL 73/78 και οι κανονισμοί που περιλάμβανε τέθηκαν σε ισχύ στις 19 Μαΐου του 2005. Το παράρτημα VI θέτει όρια για τους κύριους ατμοσφαιρικούς ρύπους που περιέχονται στα καυσαέρια των πλοίων, όπως τα SO_x και NO_x, και απαγορεύει τις σκόπιμες εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν το όζον. Επίσης ρυθμίζει τις αποτεφρώσεις αποβλήτων στα πλοία και τις εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων στα δεξαμενόπλοια.

Μετά την έναρξη ισχύος του παραρτήματος VI της MARPOL 73/78 στις 19 Μαΐου 2005, η MEPC, κατά την 53^η σύνοδο της (Ιούλιος 2005), αποφάσισε να αναθεωρήσει το παράρτημα VI με στόχο να ληφθούν πιο αυστηρά όρια εκπομπών σύμφωνα με τις νέες τεχνολογικές βελτιώσεις και τις εμπειρίες εφαρμογών. Ως αποτέλεσμα της τριετούς εξέτασης, η MEPC

κατά τη 58^η σύνοδο της, ενέκρινε το αναθεωρημένο παράρτημα VI και τον σχετικό τεχνικό κώδικα των οξειδίων του αζώτου και μπήκε σε ισχύ στις 1 Ιουλίου του 2010.

Το αναθεωρημένο Παράρτημα VI της MARPOL 73/78 συνοπτικά περιλαμβάνει τη σταδιακή μείωση παγκοσμίως των εκπομπών των οξειδίων του θείου, οξειδίων του αζώτου και αιωρούμενων σωματιδίων και την εισαγωγή σαν όρο των Περιοχών Ελέγχου Εκπομπών (ECAs) για τη περαιτέρω μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων στις καθορισμένες θαλάσσιες περιοχές. Ως ΠΕΕ μέχρι σήμερα έχουν χαρακτηριστεί η Βαλτική Θάλασσα, η Βόρεια Θάλασσα και ορισμένες θαλάσσιες περιοχές της Βόρειας Αμερικής.

Όσον αφορά τα οξείδια του θείου και τα αιωρούμενα σωματίδια, η σταδιακή μείωση τους επιτυγχάνεται με τη μείωση της περιεκτικότητας των καυσίμων σε θείο σε πρώτη φάση στα 3.5% κ.β. από 4.5% κ.β. με ισχύ από 1^η Ιανουαρίου 2012 και σε δεύτερη φάση στα 0.5% κ.β. από τη 1^η Ιανουαρίου 2020. Για τις περιοχές που εντάσσονται στις Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών (ECAs), τα όρια διαμορφώνονται σε πρώτη φάση από 1.5% κ.β. σε 1.0% από 1^η Ιανουαρίου 2010 και σε δεύτερη φάση μειώνεται στα 0.10% κ.β. με ισχύ από τη 1^η Ιανουαρίου 2015. [imo.org,n.d.-d]

Για τις εκπομπές των NO_x, ο κανονισμός προβλέπει την εφαρμογή του σε κάθε κινητήρα ντίζελ με ισχύ άνω των 130 kW σε πλοία κατασκευής μετά την 1^η Ιανουαρίου 2000 επίσης σε κινητήρες ντίζελ με ισχύ άνω των 130 kW σε περιπτώσεις μετασκευής του πλοίου. Δε συμπεριλαμβάνονται στον κανονισμό οι μηχανές έκτακτης ανάγκης (π.χ. ηλεκτρογεννήτριες), κινητήρες πρόωσης σωστικών λέμβων και οποιαδήποτε άλλη συσκευή ή εξοπλισμό που χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Τα όρια για τα NO_x έχουν θεσπιστεί με βάση τον αναθεωρημένο Τεχνικό Κώδικα για τα NO_x (2008) από τον IMO και κατατάσσει τους κινητήρες των πλοίων σε τρεις βαθμίδες (tiers) ανάλογα με το έτος κατασκευής ή μετασκευής τους και ορίζει τα αντίστοιχα όρια εκπομπών σε Συνολικές σταθμισμένες εκπομπές με μονάδες g/kWh [Πίνακας 1.3]. [imo.org,n.d.-e]

Πίνακας 1.3: Όρια NO_x για τους κινητήρες των πλοίων [imo.org,n.d.-e]

Βαθμίδα(Tier)	Ημερομηνία κατασκευής πλοίου	Συνολικά σταθμισμένες εκπομπές(g/kWh) n = στροφές μηχανής ανά λεπτό(rpm)		
		n ≤ 130	130 < n < 2000	n ≥ 2000
1 ^η	Μετά τις 1/1/2000	17	45*n ^(-0.2)	9.8
2 ^η	Μετά τις 1/1/2011	14.4	44*n ^(-0.23)	7.7
3 ^η	Μετά τις 1/1/2016	3.4	9*n ^(-0.2)	2

Επίσης στο αναθεωρημένο Πρωτόκολλο της MARPOL 73/78 περιλαμβάνονται κανονισμοί σχετικά με τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (GHGs emissions). Ο IMO το 2011 ενέκρινε μια δέσμη τεχνικών μέτρων για τα νέα πλοία και λειτουργικά μέτρα μείωσης των εκπομπών για όλα τα πλοία. Ο κανονισμός εντάχθηκε στο παράρτημα VI της MARPOL 73/78 ως κεφάλαιο 4 με τίτλο «Κανονισμοί για την ενεργειακή απόδοση των πλοίων» και αποτελείται από δύο βασικά μέτρα :

- τον Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI), ο οποίος απαιτεί από τα νέα πλοία να συμμορφώνονται με τα ελάχιστα υποχρεωτικά επίπεδα ενεργειακής απόδοσης, και αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου μέσω διαφορετικών φάσεων

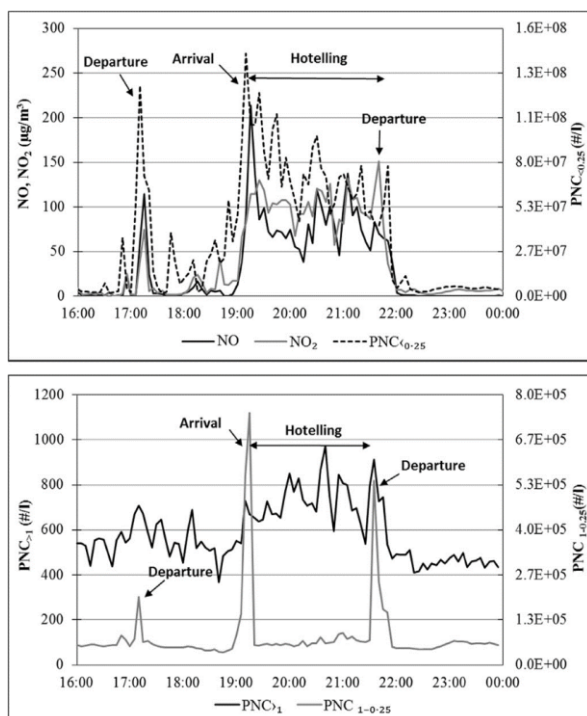
- το Σχέδιο Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίων (SEEMP), το οποίο εντάσσει ένα μηχανισμό για τις πλοιοκτήτριες εταιρίες για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης τόσο των νέων όσο και των υπάρχοντων πλοίων χρησιμοποιώντας επιχειρησιακά μέτρα όπως σχεδίαση του δρομολόγηση με βάση τις προγνώσεις του καιρού, βελτιστοποίηση σχεδιασμού του βυθίσματος του πλοίου, βελτιστοποίηση της ταχύτητας ταξιδιού , έγκαιρη άφιξη σε λιμάνια κ.α.

Τα μέτρα αυτά τέθηκαν σε ισχύ στις 1 Ιανουαρίου του 2013 και εφαρμόζονται σε όλα τα πλοία χωρητικότητας άνω των 400 τόνων.[imo.org,n.d.-f]

2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται συνοπτικά μελέτες που έχουν προηγηθεί στο παρελθόν σχετικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση προερχόμενη από τις εκπομπές των πλοίων αλλά και άλλων μέσων εντός των λιμένων. Σκοπός της παρουσίασης είναι να αναφερθούν οι σημαντικότερες πληροφορίες που περιέχουν εντός μιας παραγράφου, αναφέροντας μόνο τα πιο σημαντικά στοιχεία τους. Σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι οι μελέτες αυτές έχουν προηγηθεί είχαν σαν αντικείμενο μελέτης λιμάνια μεγάλου μεγέθους όπου πραγματοποιούνται διάφορες δραστηριότητες εντός των λιμένων (υποδοχή φορτηγών πλοίων, κρουαζιερόπλοια, επιβατηγά πλοία, βαρέα οχήματα μεταφορών κ.α.).

Αρχικά μια δημοσίευση προερχόμενη από τους E. Merico, A. Donateo, και A. Gambaro, ερευνά την επίδραση των εκπομπών των πλοίων εντός λιμένων σε αέριους ατμοσφαιρικούς ρύπους και σε σωματίδια διαφορετικών μεγεθών σε ένα Μεσογειακό λιμάνι της Ιταλίας. Πιο συγκεκριμένα, μελετήθηκε η συνεισφορά των εκπομπών των πλοίων στις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις αέριων ρύπων και σωματιδίων λαμβάνοντας υπόψη τους ελιγμούς (άφιξη και αναχώρηση πλοίων) καθώς και τα διαστήματα που τα πλοία προσαράζουν στο λιμένα. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για ένα διάστημα 4 μηνών όπου συλλέχθηκαν δεδομένα για τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων, των αέριων συγκεντρώσεων των O_3 , NO_x , SO_2 καθώς και κλιματικά δεδομένα όπως θερμοκρασία, ταχύτητα ανέμου και σχετική υγρασία. Παρατηρήθηκε ότι στα διαστήματα των ελιγμών σε σχέση με τον ελλιμενισμό υπάρχει μια σημαντική αύξηση των εκπομπών [Εικόνα 2.1]. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η υλικοτεχνική υποστήριξη του λιμανιού έχει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό του συνολικού αντίκτυπου των εκπομπών των πλοίων στην ποιότητα του αέρα των γειτονικών παράκτιων περιοχών και επομένως η βελτιστοποίηση των υλικοτεχνικών υποδομών του λιμένα θα μπορούσε να γίνει ένα χρήσιμο εργαλείο για τον μετριασμό των εκπομπών. [Merico et al, 2016]



Εικόνα 2.1: Διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων των ρύπων κατά τις διάφορες λειτουργίες των πλοίων [Merico et al, 2016]

Οι F. Murena, M.V. Pratti και F. Quaranta παρουσίασαν τα αποτελέσματα μιας εκστρατείας παρακολούθησης των SO_2 , NO_2 και βενζολίου προκειμένου να κάνουν μία εκτίμηση της επίδρασης των αέριων εκπομπών των πλοίων στο λιμάνι και την πόλη της Νάπολης. Τοποθετήθηκαν 40 παθητικοί μετρητές και πήραν τις μέσες συγκεντρώσεις για τους ρύπους για τη χρονική περίοδο της εκστρατείας. Οι συγκεντρώσεις που παρατηρήθηκαν ήταν εντός των οριακών τιμών που καθορίζονται από τις Ευρωπαϊκές οδηγίες. Στη συνέχεια για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων χρησιμοποίησαν έναν αλγόριθμο παρεμβολής χρησιμοποιώντας ένα λογισμικό, όπου κατασκευάστηκαν χάρτες περιγράμματος για κάθε ρύπο. Από τους χάρτες παρατηρήθηκε ότι η μέγιστη συγκέντρωση του SO_2 σημειώνεται εντός του λιμανιού ενώ του NO_2 εντός της πόλης, όσο για το βενζόλιο παρατηρήθηκε μέγιστη συγκέντρωση στα σύνορα μεταξύ πόλης και λιμανιού. Αυτό το αποτέλεσμα οφείλεται στην διεύθυνση και κατεύθυνση του ανέμου, γι' αυτό υπάρχει αυτή η διαφορά στη διασπορά κάθε ρύπου.[Murena et al,2018]

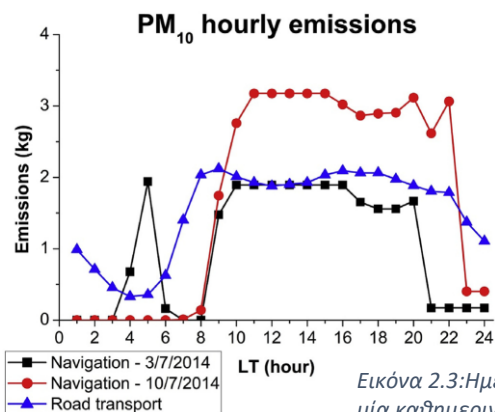
Οι F. Murena, L. Mocerino, F. Quaranta, και D. Toscano αξιολόγησαν την επίδραση των αέριων εκπομπών των κρουαζιερόπλοιων στο λιμάνι της Νάπολης στην ποιότητα του αέρα χρησιμοποιώντας μια μέθοδο από κάτω προς τα πάνω(bottom-up methodology). Δηλαδή συγκέντρωσαν τα κύρια χαρακτηριστικά των πλοίων και μέτρησαν τα χρονικά διαστήματα που είναι στις διάφορες φάσεις(άφιξη/αναχώρηση και ελλιμενισμός) στο λιμάνι, όπου με τη μεθοδολογία του ΕΟΠ εκτίμησαν τις αέριες εκπομπές. Συγκεκριμένα μελετήθηκαν οι εξής ρύποι: NO_x και SO_x . Στην συνέχεια, για τον υπολογισμό της επίδρασης των ρύπων στην αστική περιοχή της Νάπολης εισήγαγαν τις εκπομπές σε πρόγραμμα προσομοίωσης διασποράς μοντέλου Gauss λαμβάνοντας έτσι χάρτες περιγράμματος των μέσων τιμών των συγκεντρώσεων 1 ώρας καθώς και ενός έτους[Εικόνα 2.2]. Για να γίνει μια αξιολόγηση της ακρίβειας των εκτιμώμενων εκπομπών, χρησιμοποίησαν τα δεδομένα από την μελέτη του F. Murena από την προηγούμενη παράγραφο όπου έδειξε μία ικανοποιητική συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις των αέριων ρύπων παρουσιάζουν σημαντική διακύμανση βάση των εποχών καθώς και η επίδρασή τους στην αστική περιοχή επηρεάζεται με τη μετεωρολογία ιδιαίτερα με την διεύθυνση του ανέμου.[Murena et al, 2018]



Εικόνα 2.2:Χάρτες μέσης ετήσιας συγκέντρωσης[$\mu\text{g}/\text{m}^3$], NO_2 πάνω, SO_2 κάτω[Murena et al, 2018]

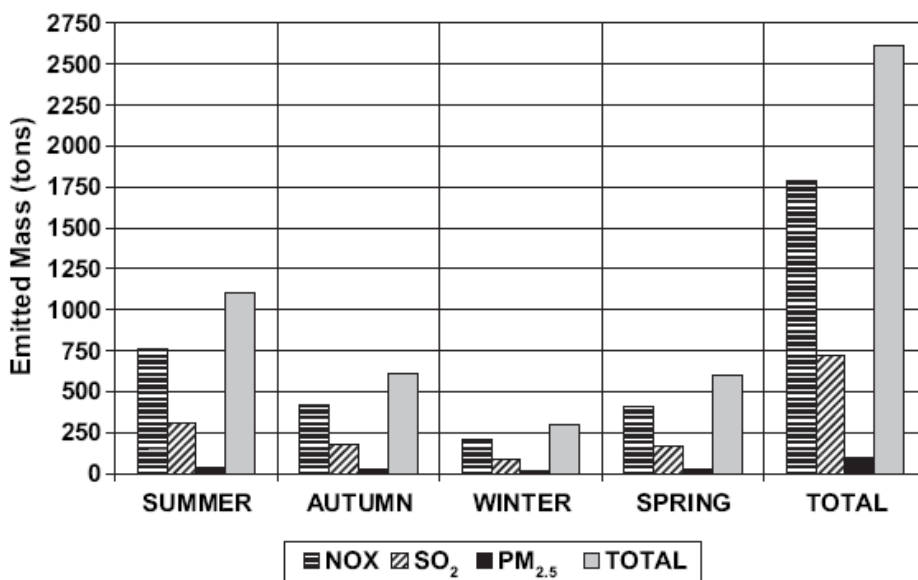
Οι J. Perdiguero και A. Sanz μελέτησαν την δραστηριότητα και τη ρύπανση των κρουαζιερόπλοιων στη πόλη της Βαρκελώνης. Χρησιμοποιώντας ένα σύνολο δεδομένων που συλλέχθηκαν από άλλους συγγραφείς, διαπίστωσαν ότι τα κρουαζιερόπλοια έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα όχι μόνο του λιμανιού αλλά και όλης της πόλης. Ιδιαίτερα, τα αποτελέσματα τους για τους ρύπους PM_{10} , NO_x , CO και SO_2 , κάνοντας προσομοιώσεις διασποράς έδειξαν ότι ένα κρουαζιερόπλοιο που εισέρχεται, παραμένει και φεύγει από το λιμάνι επηρεάζει τη ποιότητα του αέρα της πόλης ακόμα και σε απόσταση 7 έως 10 χιλιομέτρων από το σημείο που αράζει. Το κύριο πρόβλημα είναι στο λιμάνι, αφού όσο πιο κοντά είμαστε τόσο μεγαλύτερη είναι και η αέρια ρύπανση. Για παράδειγμα, ένα κρουαζιερόπλοιο μπορεί να αυξήσει τις συγκεντρώσεις των ρύπων ακόμα και έως 60% σε απόσταση 1 χιλιομέτρου σε σχέση με τον ωριαίο μέσο όρο των συγκεντρώσεων. Επίσης, τα κλιματικά δεδομένα έδειξαν πως υψηλή θερμοκρασία και υψηλή σχετική υγρασία παράγουν μεγαλύτερα επίπεδα ρύπανσης, ενώ μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου προκαλούν μείωση. Τα αποτελέσματα της έρευνας τους παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για την εφαρμογή νέων πολιτικών στα λιμάνια όπου δέχονται κρουαζιερόπλοια με σκοπό να περιορίσουν τις εκπομπές αέριων ρύπων που παράγονται από τη συγκεκριμένη δραστηριότητα.[Perdiguero, Sanz, 2020]

Οι K.M. Fameli, A.M. Kotrikla, C. Psanis, G. Biskos και A. Polydoropoulou πραγματοποίησαν μία εκτίμηση των αέριων εκπομπών από τα μέσα μεταφοράς σε δύο παραθαλάσσιες πόλεις της Βορειανατολικής Μεσογείου. Σκοπός της έρευνας τους είναι η παροχή μιας μεθοδολογίας για την απογραφή των εκπομπών στον τομέα των μεταφορών για δύο πόλεις-λιμένες που βρίσκονται στο Βόρειο Αιγαίο στα νησιά της Χίου και της Λέσβου. Η απογραφή των εκπομπών αφορά το έτος 2014 και είναι βασισμένη σε προσεγγίσεις από πάνω προς τα κάτω και από κάτω προς τα πάνω, με δεδομένα προερχόμενα από τις τοπικές αρχές αλλά και από έρευνα. Συγκεκριμένα μελετήθηκαν οι οδικές και οι θαλάσσιες μεταφορές. Για την εκτίμηση των εκπομπών έγινε χρήση της μεθοδολογίας που περιέχεται στον οδηγό του EMEP/EEA. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι οι μεγαλύτερες εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα εκπέμπονται από τα επιβατηγά αυτοκίνητα (43% των συνολικών εκπομπών CO) ενώ για τις εκπομπές PM_{10} τα φορτηγά έχουν το μεγαλύτερο μερίδιο (66% των συνολικών εκπομπών PM_{10}). Οι ρύποι που εκπέμπονται σε μεγαλύτερες ποσότητες από τα πλοία είναι τα NO_x , ακολουθούμενα από το SO_2 και CO. Τέλος, στην καθημερινή συνεισφορά των δύο τομέων μεταφορών, οι εκπομπές των οδικών μεταφορών παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ρύπων, όμως οι εκπομπές προερχόμενες από τα πλοία δε θα πρέπει να θεωρηθούν αμελητέες, ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες όπου υπάρχει αύξηση της κίνησης λόγω του τουρισμού.[Fameli et al., 2020]



Εικόνα 2.3: Ημερήσια διακύμανση των PM_{10} για μία καθημερινή μέρα στη Μυτιλήνη [Fameli et al., 2020]

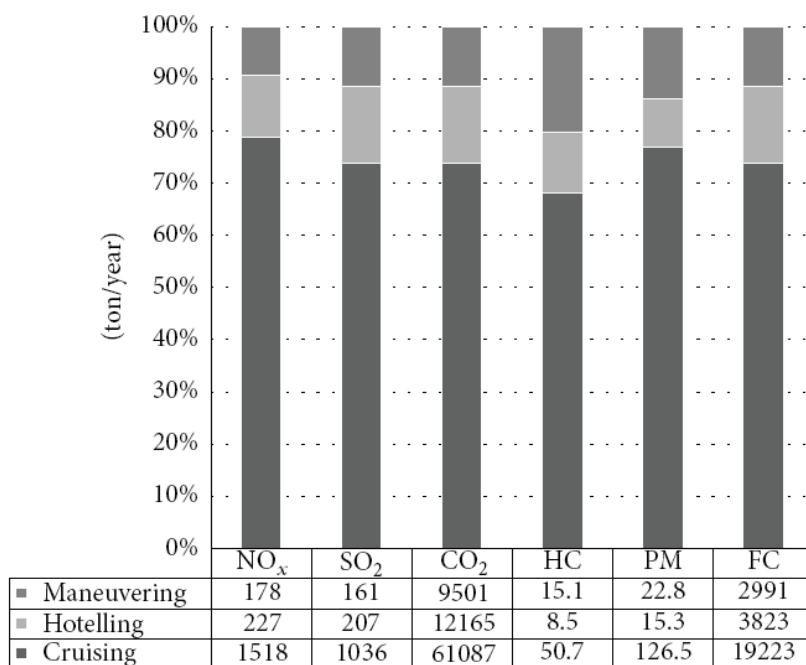
Ο Ε. Τzannatos μελέτησε τις αέριες εκπομπές των πλοίων και τις οικονομικές επιπτώσεις τους για το λιμάνι του Πειραιά. Ο λόγος που τον οδήγησε σε αυτή τη μελέτη ήταν οι επιπτώσεις που έχουν στην υγεία του ανθρώπινου πληθυσμού και του δομημένου περιβάλλοντος των αστικών λιμένων εξαιτίας των καυσαερίων των πλοίων. Εφαρμόστηκε μια μεθοδολογία βασισμένη στη δραστηριότητα των πλοίων στο λιμάνι για τους ελιγμούς καθώς και για το διάστημα ελλιμενισμού για επιβατηγά πλοία και κρουαζιερόπλοια, προκειμένου να εκτιμηθούν οι κύριες εκπομπές ρύπων των πλοίων (NO_x , SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$) για μία περίοδο 12 μηνών του 2008-2009. Οι εκτιμώμενες εκπομπές αναλύθηκαν ως προς τα είδη αερίου, την εποχικότητα, τη δραστηριότητα και τον ναυτιλιακό τομέα. Η εποχιακή κατανομή των εκπομπών σύμφωνα με το είδος ρύπου παρουσιάζεται στην [Εικόνα 2.4.]. Οι εκπομπές NO_x βρέθηκαν να κυριαρχούν σε σχέση με τα SO_2 και $\text{PM}_{2.5}$. Όπως είναι αναμενόμενο, οι εκπομπές κατά τους θερινούς μήνες είναι σχεδόν διπλάσιες σε σχέση με αυτές του φθινοπώρου και της άνοιξης ενώ του χειμώνα είναι το 1/3. Αυτή η εποχιακή διακύμανση επιφέρει πολύ σημαντικές επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα στο λιμάνι αλλά και στη πόλη του Πειραιά. Επίσης εφαρμόστηκαν παράγοντες εξωτερικού κόστους για τις εκπομπές, σε μια προσπάθεια αξιολόγησης της οικονομικής επίπτωσης της ζημίας που προκαλούν οι αέριες εκπομπές των πλοίων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι εκπομπές φτάνουν τους 2600 τόνους ετησίως (συνολικά των ρύπων) και οι εκτιμώμενες οικονομικές επιπτώσεις τους για αυτή τη περίοδο ανέρχεται στα 51 εκατομμύρια ευρώ. Τέλος, επισημαίνει την αναγκαιότητα της εισαγωγής αυστηρού ελέγχου στις εκπομπές των επιβατηγών πλοίων από τις αρμόδιες αρχές σε μεγάλα λιμάνια όπως αυτό του Πειραιά, πέρα από τις οδηγίες της ΕΕ.[Tzannatos, 2010]



Εικόνα 2.4:Κατανομή των εκπομπών ανάλογα με την εποχή και το είδος ρύπου.[Tzannatos, 2010]

Ο Η. Saraçoğlu διεξήγαγε μια έρευνα σχετικά με τις επιπτώσεις των αέριων εκπομπών των πλοίων στο λιμάνι της Σμύρνης. Οι αέριες εκπομπές υπολογίστηκαν με βάση ενός μοντέλου βάσει της δραστηριότητας των πλοίων για το λιμάνι της Σμύρνης, που είναι το σημαντικότερο εμπορικό λιμάνι της Τουρκίας. Ο λόγος στον οποίο βασίστηκε η έρευνα είναι

ότι τα πλοία που καταφτάνουν στο λιμάνι είναι μία από τις κύριες πηγές εκπομπών αέριων ρύπων για τη πόλη της Σμύρνης , όπου αυτές οι εκπομπές βάση μελετών που έχουν διεξαχθεί στο παρελθόν μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Στην [Εικόνα 2.5.] παρουσιάζονται οι εκλυόμενοι ρύποι με βάση την κατάσταση λειτουργίας των πλοίων(ταξίδι, ελιγμοί, ελλιμενισμός). Οι ρύποι κατά τη διάρκεια του ταξιδιού είναι σαφώς περισσότεροι επειδή η κύρια μηχανή λειτουργεί στο μέγιστο δυνατό και για περισσότερη χρονική διάρκεια. Επίσης παρατηρήθηκε ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εκλύονται από τα φορτηγά πλοία. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι τα πλοία που ελλιμενίζονται στα λιμάνια είναι σημαντικές πηγές εκπομπών αέριων ρύπων για το λιμάνι αλλά και για τις γύρω περιοχές. Τέλος , επειδή οι εκπομπές γίνονται κυρίως κατά τα στάδια του ελλιμενισμού και του ταξιδιού , προτείνεται για το περιορισμό των εκπομπών κατά τη παραμονή του πλοίου στο λιμάνι να παρέχεται στο πλοίο ηλεκτρική ενέργεια από την ακτή (cold ironing method) ώστε να μειωθούν οι εκπομπές εντός του λιμανιού.[Saraçoğlu et al., 2013]



Εικόνα 2.5:Συνολικές ετήσιες εκπομπές καυσαερίων κατά τη λειτουργία των πλοίων.[Saraçoğlu et al., 2013]

Μια έρευνα προερχόμενη από τους A. Monteiro , M. Russo, C. Gama, C. Borrego μελετά τη σημαντικότητα των θαλάσσιων εκπομπών για τη ποιότητα του αέρα σε Ευρωπαϊκή και Εθνική κλίμακα. Χρησιμοποιήθηκε αριθμητική μοντελοποίηση για τη προσομοίωση του αντίκτυπου των εκλυόμενων ρύπων , λαμβάνοντας υπόψη τους πιο κρίσιμους όσον αφορά την ατμοσφαιρική συγκέντρωση πάνω από αυτές τις περιοχές : NO₂,PM₁₀ και O₃. Τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης επισήμαναν ότι οι πιο κρίσιμες περιοχές της Ευρώπης βρίσκονται στον Βορρά και στη Μεσόγειο θάλασσα, περιορισμένες στις διεθνείς θαλάσσιες διαδρομές. Οι συγκεντρώσεις των ρύπων αναλύθηκαν για τρεις διαφορετικές θέσεις (Διαδρομή , Λιμάνι , Ενδοχώρα). Οι θαλάσσιες μεταφορές ευθύνονται για την ωριαία και την ημερήσια αύξηση των μέσων συγκεντρώσεων του NO₂ κατά περίπου 4 μg/m³. Η σχετική συνεισφορά του NO₂ στα λιμάνια είναι μεταξύ 10% έως 20% ενώ στην ενδοχώρα κάτω του 5%. Για τα PM₁₀ , τα μοντέλα έδειξαν ότι είναι υπεύθυνα για αύξηση των συγκεντρώσεων

κατά $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ στις διεθνείς διαδρομές, $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα λιμάνια και λιγότερο από $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για την ενδοχώρα, που αντιστοιχούν σε σχετικές συνεισφορές περίπου 3%. Για το O_3 , παρατηρήθηκε μια διαφορά της τάξης $1 - 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για της διεθνείς διαδρομές, λιγότερο από $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ στα λιμάνια και περίπου $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ στην ενδοχώρα που οφείλεται στη δευτερογενή φύση του συγκεκριμένου ρύπου. Τέλος, τα αποτελέσματα της έρευνας θα βοηθήσουν στη διαχείριση και τις πολιτικές δράσεις στις θαλάσσιες μεταφορές και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων τους, ιδίως όσον αφορά τα λιμάνια.[Monteiro et al., 2018]

Μια δημοσίευση προερχόμενη από τον Z. Liu μελετά την επίδραση των αέριων εκπομπών των πλοίων στην Σανγκάη. Στη μελέτη, τα δεδομένα πολυετών μετρήσεων και ένα μοντέλο υψηλής ανάλυσης ποιότητας αέρα με τις ωριαίες συγκεντρώσεις αέριων ρύπων των πλοίων συνδυάστηκαν για να προσδιορισθεί η επίδραση των εκπομπών των πλοίων στην πόλη. Οι μετρήσεις των αερολυμάτων (ATOFMS) πραγματοποιήθηκαν σε αστικό χώρο από τον Απρίλιο του 2009 έως τον Ιανουάριο του 2013. Κατά τη δειγματοληψία, παρατηρήθηκε ότι πάνω από τα μισά ωριαία κλάσματα των πρωτογενών σωματιδίων που εκπέμπονται από τα πλοία κυμαινόταν μεταξύ 1 έως 10%, όπου σε κάποιες περιπτώσεις έφταναν και το 50% ιδιαίτερα κατά τους Ανοιξιάτικους και Θερινούς μήνες. Η προσομοίωση του WRF/CMAQ με τις ωριαίες εκπομπές προερχόμενες από την απογραφή των εκπομπών από παλαιότερη μελέτη, παρείχε τις συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων των πλοίων σε μορφή θυσάνου Gauss. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν ότι τα πλοία μπορούν να συνεισφέρουν στο 20%-30% των συνολικών σωματιδίων $\text{PM}_{2.5}$ εντός δέκα χιλιομέτρων της παραθαλάσσιας και παράκτιας Σανγκάης, όπου φαίνεται ότι οι εκπομπές των πλοίων έχουν σημαντική συνεισφορά στην ατμοσφαιρική ρύπανση στον αστικό ιστό. Τέλος, προτείνει στις αρμόδιες αρχές να λάβουν μέτρα ελέγχου των εκπομπών των πλοίων λαμβάνοντας υπόψη το αρνητικό αντίκτυπο που έχουν στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία.[Liu et al., 2017]

Ο G.P. Gobbi διεξήγαγε μια μελέτη για τις συνθήκες ενός τυπικού κεντρικού λιμανιού – πόλη της Μεσογείου, με σκοπό την εκτίμηση της σχετικής συνεισφοράς στην αέρια ρύπανση προερχόμενη από την ναυτιλία στην τοπική ποιότητα του αέρα. Για την πραγματοποίηση της μελέτης, συλλέχτηκαν δεδομένα για την ποιότητα του αέρα σε ένα διάστημα 3 χρόνων στα σύνορα του λιμανιού και της πόλης της Τσιβιταβέκια και αναλύθηκαν για την μακροπρόθεσμη αξιολόγηση της σχετικής συνεισφοράς του λιμανιού και της πόλης για το προσδιορισμό των ρυθμιζόμενων από την ΕΕ ρύπων (NO_2 , PM_{10} και SO_2). Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για την αιθάλη και άλλων εξαιρετικά μικρών σωματιδίων σε μία βραχυπρόθεσμη και εντατική εκστρατεία μετρήσεων ώστε να γίνει μία εκτίμηση για το ρόλο του λιμανιού στις εκπομπές αυτών των μη ρυθμιζόμενων ρύπων. Η διασταύρωση των μετρήσεων βοήθησε να προσδιορισθεί από ποιες δραστηριότητες της ναυτιλίας και από ποιους τομείς του λιμένα προκαλούνται οι κύριες εκπομπές ρύπων. Η ανάλυση των δεδομένων έδειξε ότι στα σύνορα του λιμένα με την πόλη, τα μερίδια των ετήσιων εκπομπών των ρυθμιζόμενων ρύπων που προέρχονται από τις δραστηριότητες του λιμανιού είναι 33% για το PM_{10} , 43% για το NO_2 και 60% για το SO_2 . Για τους μη ρυθμιζόμενους ρύπους, η ανάλυση ανέδειξε το υψηλό δυναμικό ρύπανσης που έχουν ορισμένες κατηγορίες πλοίων που χρησιμοποιούν καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο όμως έχουν υποστεί κακή διύλιση, τέτοια καύσιμα χρησιμοποιούνται συνήθως από επιβατηγά πλοία Ro-Ro. Επίσης, έχει σημαντικό ρόλο και η μετεωρολογία καθώς και η τοποθεσία των προβλητών στη συνεισφορά της ναυτιλίας στην αέρια ρύπανση της πόλης και την επίδραση στη ποιότητα του αέρα. Τέλος, παρόλο που κανένας ρύπος δεν υπερέβαινε τα όρια ποιότητας αέρα που έχουν ορισθεί από την ΕΕ, προτείνει να συνεχιστεί η μελέτη και η εξέταση για τη διεύρυνση των υπαρχόντων ορίων λαμβάνοντας υπόψη και

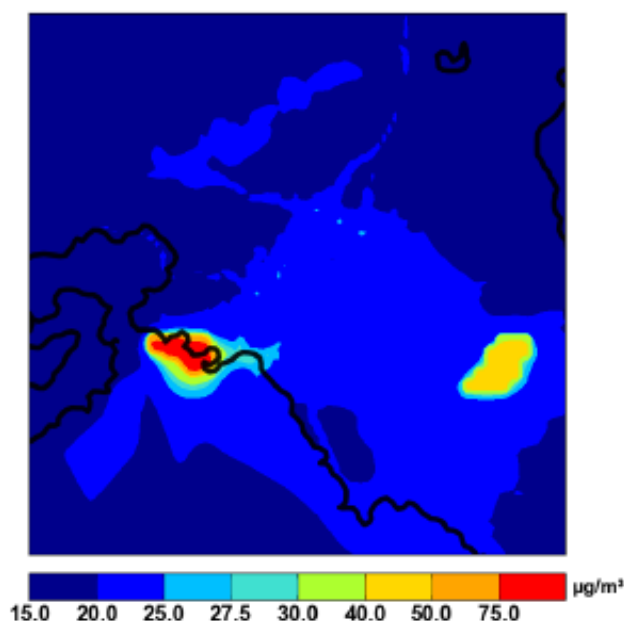
άλλες περιβαλλοντικές μεταβλητές για το περιορισμό των επιπτώσεων των λιμένων στην ποιότητα του αέρα των κοντινών πόλεων.[Gobbi, 2020]



Εικόνα 2.6:Τριγωνική ανάλυση μεταξύ των μέγιστων εκπομπών eBC και SO₂. [Gobbi, 2020]

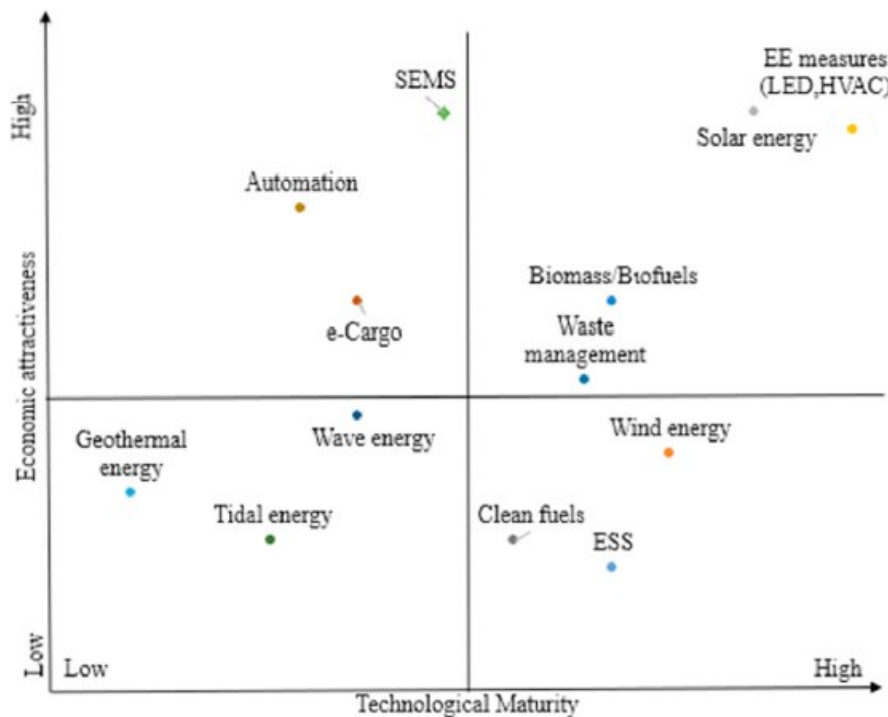
Ο Μ. Δρακούλας στη διπλωματική του εργασία έκανε αποτίμηση των επιπτώσεων στην ποιότητα του αέρα από λιμενικές δραστηριότητες στη περιοχή του λιμένα του Πειραιά. Αρχικά, για τον υπολογισμό των εκπομπών του εκάστοτε πλοίου έγινε χρήση δεδομένων του αυτόματου συστήματος αναγνώρισεων των πλοίων(AIS) και δόθηκε έμφαση σε όλα τα τεχνικά και τεχνολογικά χαρακτηριστικά των πλοίων καθώς και στον τύπο του καυσίμου. Ο υπολογισμός των εκπεμπόμενων ρύπων έγινε σύμφωνα με το εγχειρίδιο του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος «EMEP/EAA air pollutant emission inventory guidebook 2016». Τα αποτελέσματα των υπολογισμών έδειξαν πως οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων που αντιστοιχούν σε επιβατικά πλοία ξεπερνούν το 50% των συνολικών εκπομπών , σημαντική παρατήρηση είναι ότι ένα μεγάλο κομμάτι αυτών των εκπομπών κατέχουν τα κρουαζιερόπλοια που ειδικά κατά τους θερινούς μήνες συνεισφέρουν σημαντικές ποσότητες ρύπων εντός του λιμένα. Για τον εμπορικό λιμένα , τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων κατέχουν περίπου το 60% των εκπομπών , ποσοστό που αναμένεται να αυξηθεί στα επόμενα χρόνια εξαιτίας των συμφωνιών που έχουν υπογραφεί. Το λιμάνι αποτελεί ίσως τη μεγαλύτερη πηγή ρύπων της περιοχής του Πειραιά αφού οι εκπομπές NO_x ξεπερνάνε τους 7000 τόνους ετησίως. Επίσης ο συγγραφέας θεώρησε εξίσου σημαντικό με τις ποσότητες των εκπεμπόμενων ρύπων και τον τρόπο διασποράς τους , αφού οι συγκεντρώσεις στις περιοχές γύρω από τον λιμάνι είναι αυτές που καθορίζουν τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Η προσομοίωση της διασποράς των ρύπων έγινε με τη χρήση του λογισμικού MARS-aero , όπου με τα αποτελέσματα έγινε χάραξη των χαρτών των συγκεντρώσεων. Οι χάρτες επιβεβαίωσαν τη σημαντική συνεισφορά των εκπομπών του λιμένα στις συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στη περιοχή μελέτης. Ιδιαίτερα οι συγκεντρώσεις σωματιδίων ήταν σημαντικά μεγαλύτερες από τα θεσπισμένα από την Ε.Ε. όρια. Τέλος, από τα αποτελέσματα των υπολογισμών και των προσομοιώσεων διασποράς των ρύπων συμπεραίνεται ότι έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα εντός του λιμένα αλλά και στις γύρω περιοχές

και η αντιμετώπιση τους απαιτεί τη χάραξη νέων πολιτικών αντιμετώπισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.[Δρακούλας, 2017]



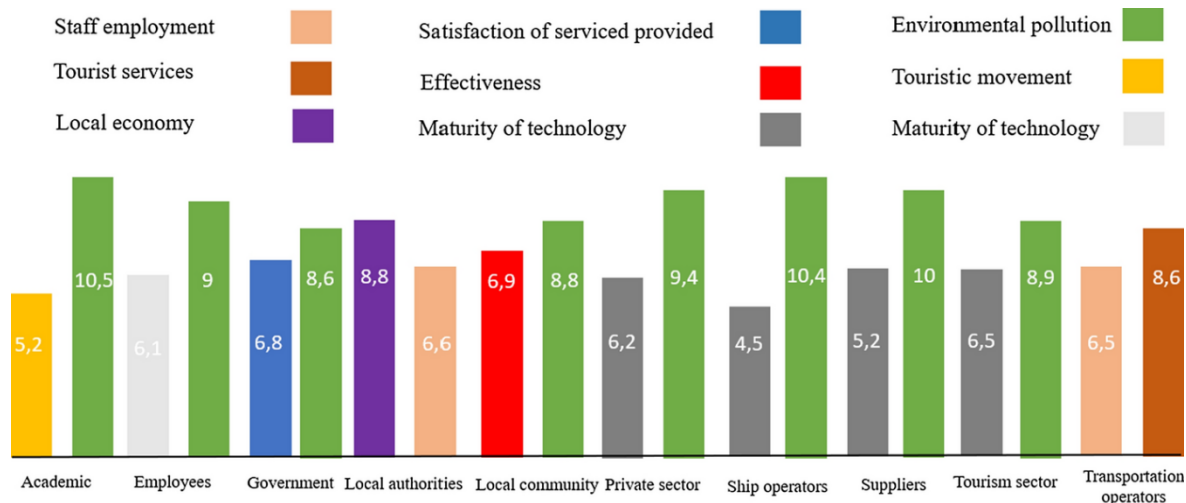
Εικόνα 2.7: Μέσες συγκεντρώσεις PM_{10} στην ευρύτερη περιοχή Αθηνών[Δρακούλας, 2017]

Ο Ν. Sifakis πραγματοποίησε μια εκτενής μελέτη για το σχεδιασμό λιμένων μηδενικών αέριων εκπομπών μέσω του σχεδιασμού λιμένων σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης. Τα κριτήρια για το σχεδιασμό ενός τέτοιου λιμένα είναι η : (α')ποιότητα του αέρα, (β')εξοικονόμηση ενέργειας και ΑΠΕ, (γ')ποιότητα του νερού και ρύπανση των υδάτων, (δ')εξηλεκτρισμός/υβριδοποίηση εξοπλισμού, (ε')ηχορύπανση, (στ')διαχείριση αποβλήτων, (ζ') συστήματα διαχείρισης ενεργειακών συστημάτων. Αρχικά, έγινε συλλογή και ανασκόπηση της υπάρχουσας επιστημονικής βιβλιογραφίας από πηγές όπως ScienceDirect, Web of Knowledge κ.α. προκειμένου να εντοπιστούν κρίσιμες ερευνητικές ανακαλύψεις και οι βιώσιμες λύσεις ώστε να επιτευχθεί η πρόκληση του σχεδιασμού λιμένων σχεδόν ενεργειακής κατανάλωσης. Έπειτα, όλες οι λύσεις και τα μέτρα αναλύθηκαν και αξιολογήθηκαν αναδεικνύοντας έτσι τα υπέρ και τα κατά τους για μελλοντική εφαρμογή παράλληλα με την οικονομική ή τεχνολογική τους ωριμότητα[Εικόνα 2.8.]. Ορισμένοι λιμένες ήδη έχουν αρχίσει να αλλάζουν τις προτεραιότητες τους, δίνοντας προτεραιότητα στην ενεργειακή εξοικονόμηση και προσαρμόζονται στις στρατηγικές μετριασμού της κλιματικής αλλαγής αξιοποιώντας τα έξυπνα συστήματα διαχείρισης ενέργειας(SEMS) όπως η χερσαία τροφοδοσία ηλεκτρικού ρεύματος στα πλοία όπου σε συνδυασμό με τις ΑΠΕ μπορεί να προσφέρει εξαιρετική μείωση των αερίων του θερμοκηπίου. Τέλος, οι αρχές διαχείρισης των λιμένων μπορούν να επωφεληθούν από αυτή τη μελέτη καθώς είναι ένας περιεκτικός και δομημένος οδηγός, ο οποίος παρέχει λύσεις στα επερχόμενα προβλήματα.[Sifakis and Tsoutsos, 2021]



Εικόνα 2.8: Διάγραμμα EATM των προτεινόμενων τεχνολογιών και τεχνικών [Sifakis & Tsoutsos, 2021]

Ο Ι. Αργυρίου λαμβάνοντας υπόψη τις προκλήσεις που έχουν προκύψει σχετικά με τη βιωσιμότητα των λιμένων, ανέπτυξε μια οδηγία με σκοπό την διευκόλυνση και προώθηση της συνεργασίας μεταξύ των άμεσα ενδιαφερόμενων τόσο κοινωνικά όσο οικονομικά του λιμένα. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε για το λιμένα της Σούδας. Αρχικά, στο πλαίσιο της έρευνας αναπτύχθηκε ένα ειδικό ερωτηματολόγιο και δόθηκε σε διάφορους ενδιαφερόμενους φορείς (τοπικές αρχές, εργαζόμενοι, τοπική κοινωνία, κυβερνητικές οργανώσεις, ναυτιλιακά πρακτορεία κ.α.) του λιμένα. Η έρευνα χρησιμοποίησε πολλαπλά κριτήρια ώστε να καθορίσει τις καλύτερες δυνατές περιβαλλοντικές, κοινωνικές, οικονομικές και τεχνολογικές προσεγγίσεις στο πρόβλημα. Για το λόγο αυτό ήταν απαραίτητο να συμπεριληφθούν απόψεις από όλους. Τα κριτήρια που εξετάστηκαν αφορούσαν το περιβάλλον, την οικονομία/τουρισμό, τη κοινωνική αποδοχή και τη τεχνολογία. Το ερωτηματολόγιο ζητούσε να κατατάξουν τα 12 κριτήρια σε μία κλίμακα από το 1 (ελάχιστο/άσχετο κριτήριο) έως το 10 (βασικό κριτήριο). Η δειγματοληψία διήρκεσε περίπου τρεις μήνες. Με βάση τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, εφαρμόστηκε μία πολυκριτηριακή ανάλυση η οποία εστίασε σε κριτήρια που σχετίζονται με συγκεκριμένους στόχους, όπως η αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, καθώς και βήματα για τη βελτιστοποίηση των δεικτών βιωσιμότητας. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης [Εικόνα 2.9.] έδειξαν ότι οι βασικές προτεραιότητες για την επίτευξη της βιωσιμότητας στους λιμένες είναι η αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής ρύπανσης, η ενεργειακή εξοικονόμηση και η ασφάλεια του προσωπικού και των εγκαταστάσεων. [Argyriou et al, 2021]



Εικόνα 2.9:Αποτελέσματα της έρευνας ανά ομάδα ερωτηθέντων[Argyriou et al, 2021]

Όσον αφορά την ηχορύπανση , οι E. Murphy και E.A. King έκαναν μία εκτίμηση της έκθεσης των κατοίκων στο θόρυβο προερχόμενο από ένα εμπορικό λιμένα. Συγκεκριμένα , η έρευνα για τον θόρυβο πραγματοποιήθηκε για τους κατοίκους που βρίσκονται κοντά στο λιμάνι του Δουβλίνου, το οποίο είναι το μεγαλύτερο της Ιρλανδίας. Προκειμένου να γίνει η εκτίμηση του επιπέδου της έκθεσης στη περιοχή , έγιναν μακροπρόθεσμες μετρήσεις στην πιο εκτεθειμένη οικιστική περιοχή για μία περίοδο 45 ημερών για να προσδιοριστεί η έκταση της νυχτερινής έκθεσης όπου τα επίπεδα θορύβου ήταν πάνω από τα όρια που προτείνει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας. Χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες L_{90} , L_{max} , L_{eq} για τον προσδιορισμό των επιπέδων της έκθεσης. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η έκθεση των κατοίκων στο θόρυβο τις νυχτερινές ώρες υπέρβαιναν τα όρια που έχει καθορίσει ο Π.Ο.Υ. και τα όρια των Ιρλανδικών αρχών και καταδεικνύουν τον θόρυβο που παράγεται εντός ενός λιμένα ως ένα σημαντικό στρεσογόνο περιβαλλοντικό παράγοντα.[Murphy, King, 2014]

Οι F.M. Bermúdez , F.G. Laxe και E. Aguayo-Lorenzo εξέτασαν τη βιωσιμότητα των λιμένων στην Ισπανία ως προς το θόρυβο. Το Ισπανικό δίκτυο λιμένων αποτελείται από 28 λιμενικές αρχές οι οποίες διαχειρίζονται 46 λιμάνια , τα οποία μετέφεραν 564 τόνους εμπορεύματος και 46 εκατομμύρια επιβάτες το 2018. Η πλειοψηφία των λιμένων βρίσκεται σε αστικές περιοχές. Σε όλα τα υπό μελέτη λιμάνια υπάρχουν σύνθετες δραστηριότητες , οι οποίες έχουν σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον , μία από αυτές είναι και ο θόρυβος ο οποίος έχει αρνητικές επιδράσεις στα φυσικά οικοσυστήματα αλλά και στην ανθρώπινη υγεία. Η συγκεκριμένη έρευνα επικεντρώνεται σε αυτό το πρόβλημα και αντιμετωπίζεται από δύο πλευρές: πρώτον από τη πλευρά των θεσμών, δηλαδή προσδιορισμός των πηγών ηχορύπανσης και στρατηγικές πρόληψης, παρέμβασης και ελέγχου τους κατά τη περίοδο 2011-2016 και δεύτερον, τη σύγκριση της προηγούμενης ανάλυσης και προοπτικής από την άποψη των λιμενικών αρχών με τις περιβαλλοντικές επιδόσεις που εντοπίστηκαν και αναφέρθηκαν από τους μετόχους. Οι Ισπανικές λιμενικές αρχές θεώρησαν ως κύριες πηγές ηχορύπανσης τα φορτηγά οχήματα, τα μηχανήματα εντός του λιμένα(π.χ. γερανοί) και τα αγκυροβολημένα πλοία. Αυτές οι πηγές θορύβου είναι ίδιες με αυτές που αναφέρονται από

το Ινστιτούτο Έρευνας Μεταφορών(2013) και αυτές που εξετάστηκαν στα λιμάνια του Κάλιαρι, Γένοβα , Νίκαια και Λιβόρνο στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού έργου RUMBLE. Η ανάλυση των λιμανιών κατά ομάδες ανάλογα με το μέγεθος τους καθορίζει ότι όλα ακολουθούν ένα μοτίβο παρόμοιο με το σύστημα στο σύνολο του , με κάποιες εξαιρέσεις: τα μικρά λιμάνια επισημαίνουν την κυκλοφορία οχημάτων και τα αγκυροβολημένα πλοία ως τις πιο σημαντικές πηγές ηχορύπανσης των εγκαταστάσεων τους ενώ τα μεγάλα λιμάνια επισημαίνουν τα μηχανήματα και τη κυκλοφορία των οχημάτων ως κύριες πηγές.[Bermúdez et al.,2020] Τέλος τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν:

1. Οι κανονισμοί που μπήκαν σε εφαρμογή το 2011 για την επίδραση και μετρίαση της ηχορύπανσης στα λιμάνια είχαν θετικές επιπτώσεις , αφού καταγράφηκαν πολύ λιγότερα παράπονα σχετικά με το θόρυβο. Μια προέκταση των κανονισμών για το μέλλον είναι η υποχρεωτική εγκατάσταση σταθμών μέτρησης θορύβου στα λιμάνια , όπου με τα δεδομένα θα γίνεται χαρτογράφηση του θορύβου και θα χρησίμευε στη λήψη αποφάσεων για την καταπολέμηση της ηχορύπανσης.
2. Στα μέτρα που εφαρμόστηκαν , η δράση τους επικεντρώθηκε σε πολλές δραστηριότητες που προκαλούν θόρυβο(και όχι μόνο στις κύριες), αλλά θα πρέπει να συμπεριληφθεί και η υπάρχουσα υποδομή για την εφαρμογή τους το οποίο απαιτεί παραπάνω χρόνο. Επίσης θα ήταν χρήσιμο να εφαρμοστούν πιο άμεσα μέτρα όπως η χρήση πιο αθόρυβων μηχανημάτων , οχήματα με μικρότερες εκπομπές θορύβου αλλά και επενδύσεις στις υποδομές , όπως η εγκατάσταση σταθμών μέτρησης θορύβου στα λιμάνια, οι οποίοι είναι σημαντικό εργαλείο για τη διαχείριση του θορύβου.
3. Η συμμετοχή των άμεσα ενδιαφερόμενων ομάδων συμφερόντων θα πρέπει να επισημανθεί ως βασικό στοιχείο στο σχεδιασμό βιώσιμων λιμένων. Οι απόψεις αυτών των ομάδων μέχρι σήμερα μαζεύονται με τη μορφή παραπόνων , για να αποφευχθούν μελλοντικές «συγκρούσεις» μεταξύ των λιμενικών αρχών και των επιχειρηματιών , θα πρέπει να αναζητούνται λύσεις από κοινού μέσω της επικοινωνίας.

3 Περιγραφή περίπτωσης μελέτης

3.1 Γενικές πληροφορίες για το λιμάνι

Η Σούδα είναι παραλιακή δημοτική ενότητα του Δήμου Χανίων και παράλληλα διαθέτει λιμάνι. Είναι επίνειο της πόλης των Χανίων και απέχει 7 χιλιόμετρα. Σύμφωνα με την απογραφή του 2011 είχε πληθυσμό 6.418 κατοίκους. Η Δημοτική Ενότητα Σούδας με την ευρύτερη περιοχή αποτελεί τη κύρια πύλη εισόδου – εξόδου για τη πόλη και ουσιαστικά συνιστά σημαντικό κυκλοφοριακό κόμβο. Μέσω της Σούδας πραγματοποιείται η σύνδεση του Βόρειου Οδικού Άξονα Κρήτης με το λιμάνι της Σούδας που εξυπηρετεί τις θαλάσσιες μεταφορές, καθώς επίσης και με το αεροδρόμιο «Ιωάννης Δασκαλογιάννης», το οποίο εξυπηρετεί τις εναέριες μετακινήσεις. [chania.gr,n.d.]

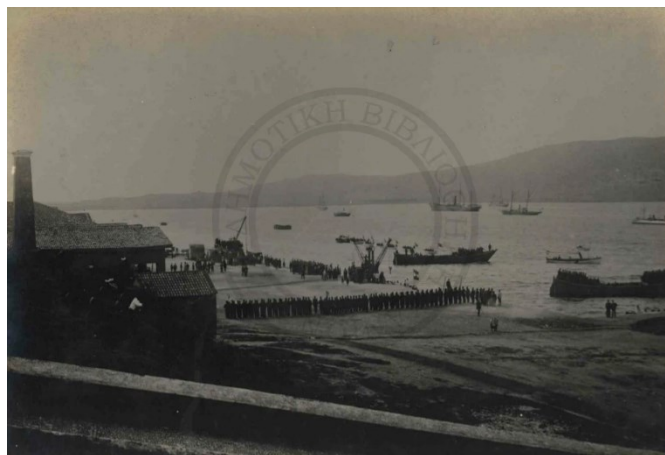


Εικόνα 3.1:Άποψη του λιμένα της Σούδας[kriti24.gr,n.d.]

3.2 Ιστορική Αναδρομή

Οι πληροφορίες για την Σούδα όσο βρισκόταν υπό Αραβική κατοχή και για την δεύτερη βυζαντινή περίοδο της Κρήτης είναι ελλιπής. Στις αρχές του 13^{ου} αιώνα παραχωρήθηκε στους Βενετούς και οι προσπάθειες να επικρατήσουν κατά τη διάρκεια του ο λιμένας της Σούδας αναφέρεται σαν χώρος διακίνησης αντιμαχόμενων στόλων. Σύμφωνα με τις πηγές, έγινε μια απόπειρα οχύρωσης του νησιού το 1230 χωρίς να υπάρχουν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτή. Στα μέσα του 16^{ου} αιώνα η Οθωμανική αυτοκρατορία επεκτείνεται συνεχώς στο χώρο της ανατολικής Μεσογείου και η Κρήτη αποτελεί έναν από τους κύριους στόχους της. Οι Βενετοί με αυτή την απειλή ασχολούνται με την οχύρωση του νησιού, ιδιαίτερα των στρατηγικών σημείων. Το 1520 σχεδιάστηκε και η οχύρωση της νησίδας Σούδας. Επίσης άλλο πρόβλημα της περιόδου ήταν οι επιθέσεις και λεηλασίες των πειρατών στη Κρήτη, όπως η αποβίβαση στη Σούδα του Χαϊρεντίν Μπαρμπαρόσα το 1538 ο οποίος έκαψε και λεηλάτησε την περιοχή του Αποκόρωνα. Τα γεγονότα αυτά υποχρέωσαν την κυβέρνηση να προέβη σε άμεσες ενέργειες οχύρωσης του νησιού και κατασκευάστηκε ο υποβρύχιος μόλος, η Porporella. Το 1645 οι Οθωμανοί πολιορκούν τα Χανιά και σε σύντομο χρονικό διάστημα περνάνε υπό την κατοχή τους. Το 1669 ολοκληρώνεται η κατάκτηση της Κρήτης από τους Οθωμανούς. Οι Βενετοί συνθηκολογούν με τον όρο να διατηρήσουν τις οχυρωμένες νησίδες της Σούδας, Γραμβούσας και Σπιναλόγκας και έτσι η Σούδα αποτελεί την έδρα τους στη Κρήτη. Το φρούριο της νησίδας στον τελευταίο πόλεμο μεταξύ των Βενετών και Οθωμανών αντιστάθηκε για 72 ημέρες και παραδόθηκε στις 27 Σεπτεμβρίου του 1715. Κατά τη διάρκεια της Οθωμανικής περιόδου το λιμάνι της Σούδας έγινε πολεμικός ναύσταθμος και σταθμός ανεφοδιασμού του Οθωμανικού στόλου. Τη περίοδο της Ελληνικής επανάστασης του 1821 αποτέλεσε πολύ σημαντικό σημείο στις μάχες του Ελληνικού και Οθωμανικού στόλου.

Στο διάστημα της Κρητικής Πολιτείας(1896-1913), το λιμάνι της Σούδας υπήρξε μόνιμο αγκυροβόλιο του στόλου των Μεγάλων Δυνάμεων αφού το ημιαυτόνομο κρατίδιο ήταν υπό τη κηδεμονία τους. Στη διάρκεια του Β' Παγκόσμιου Πολέμου, το λιμάνι διατήρησε τη στρατηγική του σημασία λόγω της θέσης του και χρησιμοποιήθηκε τόσο από τις Συμμαχικές δυνάμεις όσο και από τις δυνάμεις του Άξονα. Υπό την Γερμανική κατοχή, δημιουργήθηκαν επιπλέον οχυρωματικά έργα στις περιοχές του Ναυστάθμου, του Βλητέ, της Μαλάξας και του Αρωνίου. Η είσοδος στο λιμένα ελεγχόταν από υποσκαφές κατασκευές στη περιοχή του Κόκκινου Χωριού. Μετά την Γερμανική κατοχή εγκαταστάθηκε ξανά το Ελληνικό Πολεμικό Ναυτικό στις εγκαταστάσεις του Ναυστάθμου και σήμερα αποτελεί ιδιαίτερα σημαντική μονάδα του στόλου. Επίσης στη περιοχή του κόλπου της Σούδας έχουν κατασκευαστεί πολεμικές εγκαταστάσεις Αμερικάνικων και Νατοϊκών δυνάμεων, οι οποίες χρησιμοποιούνται για διάφορες δραστηριότητές τους στην Ανατολική Μεσόγειο.[chania.gr,n.d.]



Εικόνα 3.2:Ναύσταθμος Σούδας 1900[Ναυτοπρόσκοποι Σούδας, n.d.]

3.3 Δραστηριότητες στο χώρο του λιμανιού

Το λιμάνι της Σούδας, το οποίο είναι ένα από τα μεγαλύτερα και ασφαλέστερα της Μεσογείου, διαθέτει πολλαπλές χρήσεις (επιβατική, τουριστική, ναυταθλητική, εκπαιδευτική και αλιευτική) και τα τελευταία χρόνια αναπτύσσεται συνεχώς αφού αποτελεί διασταύρωση των σημαντικότερων θαλάσσιων οδών, συμβάλλοντας καθοριστικά στην τουριστική, εμπορική και οικονομική ανάπτυξη του Νομού Χανίων. Καθημερινά διακινούνται χιλιάδες επιβάτες, οχήματα, καθώς και εμπορεύματα(αγροτικά, κτηνοτροφικά, κ.α.). Σήμερα δραστηριοποιούνται τέσσερις ναυτιλιακές εταιρίες που εξυπηρετούν τη γραμμή Χανιά – Πειραιάς, συγκεκριμένα οι Μινωικές Γραμμές και η ANEK προσφέρουν μεταφορά επιβατών , οχημάτων και εμπορευμάτων , ενώ οι AINAFIS και CRETA CARGO LINES προσφέρουν καθαρά επαγγελματικές υπηρεσίες και δέχονται μόνο εμπορεύματα. Επίσης τα τελευταία χρόνια, το λιμάνι έχει ενταχθεί στα δρομολόγια διεθνών εταιριών κρουαζιέρας, ως προορισμός ενώ πολύ σημαντική χαρακτηρίζεται και η ένταξη του λιμένα της Σούδας στην Ένωση των Μεσογειακών Λιμένων(MEDCRUISE) – Προορισμών Κρουαζιέρας, γεγονός που αυξάνει την δυναμική που έχει αποκτήσει η Σούδα ως προορισμός. Στη γύρω περιοχή λειτουργούν αρκετοί χώροι εστίασης καθώς και ενοικιαζόμενα δωμάτια και ξενοδοχεία για τους επισκέπτες. [chania.gr,n.d.]

Στο λιμάνι της Σούδας επίσης δραστηριοποιείται η εταιρία Μύλοι Κρήτης Α.Ε. όπου εφοδιάζεται σιτηρά μέσω των φορτηγών πλοίων που καταφθάνουν στο λιμάνι. Επίσης γίνεται ο ανεφοδιασμός πετρελαίου από δεξαμενόπλοια για τις εγκαταστάσεις του Ατμοηλεκτρικού Σταθμού Χανίων όπου από το λιμάνι αντλείται στις εγκαταστάσεις μέσω υπόγειου αγωγού.



Εικόνα 3.3:Εγκαταστάσεις Μύλοι Κρήτης Α.Ε.[mills.gr,n.d.]

3.4 Υπηρεσίες Εξυπηρέτησης

Εντός και στη γύρω περιοχή του λιμένα παρέχονται μια πληθώρα υπηρεσιών εξυπηρέτησης για τους επισκέπτες, τους επαγγελματίες αλλά και του τοπικού πληθυσμού. Εντός του λιμένα βρίσκεται το λιμεναρχείο Χανίων, το οποίο είναι υπεύθυνο για τη διατήρηση της τάξης στο χώρο του λιμένα, το τελωνείο Χανίων και τα εκδοτήρια εισιτηρίων των Μινωικών Γραμμών και της ANEK. Επίσης ακριβώς στην έξοδο του λιμένα υπάρχει η στάση των αστικών λεωφορείων, που συνδέει τη Σούδα με τη πόλη των Χανίων, καθώς και στάση ταξί για την μεταφορά των επισκεπτών όπου το επιθυμούν. Στη γύρω περιοχή λειτουργούν αρκετοί χώροι εστίασης, καφετέριες, ταξιδιωτικά γραφεία (εισιτήρια, ενοικιαζόμενα οχήματα κ.α.) και ξενοδοχεία. Επίσης υπάρχουν φαρμακεία, ιατρεία, τράπεζες, καταστήματα τηλεφωνίας και άλλα καταστήματα λιανεμπορίου. Στο λιμάνι παρέχεται νερό και ηλεκτρικό ρεύμα για τον ελλιμενισμό των σκαφών και πλοίων, ζυγοπλάστιγγα για τη ζύγιση των φορτηγών οχημάτων, καύσιμα με φορητά μέσα, υπηρεσία πλοήγησης, βοήθεια πρόσδεσης των πλοίων με χρήση ρυμουλκών πλοίων και χώροι στάθμευσης. [ltnx.gr,n.d.]



Εικόνα 3.4:Χάρτης λιμένα Σούδας[soudaport.gr,n.d.]

4 Μεθοδολογία

4.1 Περιγραφή συστήματος μελέτης

Ως σύστημα προς έρευνα λήφθηκε υπόψη το λιμάνι της Σούδας, το οποίο είναι ένας λιμένας μικρού μεγέθους και βρίσκεται στο νομό Χανίων στο νησί της Κρήτης. Καθημερινά εκτελούνται δρομολόγια Χανιά-Πειραιάς, όπου εκτός τη μεταφορά επιβατών, γίνεται μεταφορά εμπορευμάτων πάσης φύσεως. Σκοπός της μελέτης είναι να γίνει αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των καθημερινών φορτοεκφορτώσεων στο λιμένα. Αρχικά, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στο πεδίο με τέσσερα διαφορετικά όργανα, προκειμένου να γίνει συλλογή δεδομένων των κλιματικών συνθηκών, εκλυόμενων ρύπων, σωματιδίων αλλά και τα επίπεδα θορύβου. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε σταθερό σημείο εντός του λιμένα όπως φαίνεται στην [Εικόνα 4.1.]. Το χρονικό διάστημα της εκάστοτε μέτρησης ήταν 1 ώρα, όπου θεωρείται ότι εντός αυτής της ώρας τα δεδομένα που συλλέγονται είναι αρκετά ικανοποιητικά για τη μελέτη. Επίσης από τις ακτοπλοϊκές εταιρίες αποκτήθηκαν δεδομένα σχετικά με τον αριθμό των επιβατών και οχημάτων που μετακινήθηκαν τις μέρες των μετρήσεων. Στη συνέχεια έγινε επεξεργασία των δεδομένων με τη χρήση υπολογιστικών φύλλων Microsoft Excel και το λογισμικό MINITAB.



Εικόνα 4.1: Σημείο δειγματοληψίας [Google, n.d.]

4.2 Όργανα μετρήσεων

4.2.1 Kestrel 4500NV

Το Kester 4500NV είναι ένας φορητός μετρητής καιρού ικανός να μετράει και να καταγράφει μια μεγάλη λίστα περιβαλλοντικών παραμέτρων όπως τη θερμοκρασία, τη ταχύτητα του ανέμου, τη σχετική υγρασία, τη βαρομετρική πίεση, το σημείο δρόσου και πολλές άλλες. Για τις ανάγκες της μελέτης, έγινε καταγραφή της θερμοκρασίας, της ταχύτητας ανέμου και της σχετικής υγρασίας ανά 30 δευτερόλεπτα για 1 ώρα συνολικά. Η καταγραφή των τιμών έγινε χειροκίνητα, αφού παρόλο που το όργανο διαθέτει αυτόματη καταγραφή των δεδομένων ανά διαστήματα που ορίζει ο χρήστης στη μνήμη του, δεν υπάρχει τρόπος να εξάγει τα δεδομένα σε κάποια άλλη συσκευή (π.χ. Η/Υ).



Εικόνα 4.2: Kestrel 4500NV [kestrelmeters.com, n.d.]

4.2.2 Mastech MS6701

Το Mastech MS6701 είναι ένας ψηφιακός μετρητής της στάθμης του ήχου. Το εύρος μέτρησης του οργάνου είναι από τα 30dB έως τα 130dB , και δίνει τη δυνατότητα να επιλέξει μεταξύ 6 ευρώών ο χρήστης. Η συχνότητα απόκρισης του μικροφώνου είναι από 30Hz έως 8kHz. Επίσης μετράει τις σταθμισμένες ισοδύναμες ηχητικές πιέσεις A και C. Η ακρίβεια του οργάνου είναι στα $\pm 1.5\text{dB}$. Η εγγραφή της στάθμης του ήχου γίνεται αυτόματα στο όργανο , με δυνατότητα καταγραφής μέχρι και 16000 στάθμες ήχου. Τα δεδομένα εξάγονται πολύ εύκολα από το όργανο , με τη σύνδεση του με τον Η/Υ μέσω USB και το λογισμικό SoundLevelMeter που προσφέρει η ίδια εταιρία. Στη συγκεκριμένη μελέτη , επιλέχθηκε το εύρος 40dB έως 90dB και η ισοδύναμη στάθμη ήχου A εφόσον χρειαζόμασταν το γενικό επίπεδο θορύβου. Οι μετρήσεις που λάμβανε το όργανο γινόταν σε διαστήματα ενός δευτερολέπτου για μία ώρα συνολικά.



Εικόνα 4.3: MS6701 [mastech-group.com, n.d.]

4.2.3 MX6 iBRID Six-gas monitor

Το MX6 iBRID είναι ένας φορητός μετρητής διάφορων αερίων ρύπων. Παρέχει προηγμένης τεχνολογίας ανίχνευση εύφλεκτων και τοξικών αερίων για τις ανάγκες δειγματοληψίας αλλά και ελέγχου των συνθηκών εργασίας σε βιομηχανικούς τομείς όπως πετρελαίου και αερίων, πετροχημικά και παραγωγή μετάλλων. Μπορεί να παρακολουθεί μέχρι και 6 αέρια ταυτόχρονα, ενώ τι ακριβώς μετράει επιλέγεται ανάλογα τις ανάγκες του χρήστη, με τους ανάλογους αισθητήρες. Διαθέτει οπτικούς αλλά και ηχητικούς συναγερμούς σε περίπτωση που η συγκέντρωση κάποιου αερίου ξεπεράσει τα περιβαλλοντικά όρια, με σκοπό να προειδοποιήσει για κάποιον ενδεχόμενο κίνδυνο που υπάρχει στο περιβάλλοντα χώρο. Προσφέρονται εκατοντάδες διαφορετικοί συνδυασμοί αισθητήρων. Μερικά από τα αέρια που μπορεί να μετρήσει είναι τα: CO, CO₂, Cl₂, H₂S, HCN, HCl, SO₂, NO, NO₂, O₂ κ.α.. Πέρα από τη παρακολούθηση, διαθέτει και σύστημα αυτόματης καταγραφής των διαφόρων συγκεντρώσεων. Στη δική μας περίπτωση μας ενδιέφερε η καταγραφή των CO₂, CO, NO, NO₂, όπου η δειγματοληψία γινόταν ανά 30 δευτερόλεπτα για συνολική διάρκεια 1 ώρας.



Εικόνα 4.4:MX6 iBRID[indsci.com,n.d.]

4.2.4 DustTrak DRX 8534

Το DRX 8534 είναι ένα φορητό όργανο μέτρησης αερολυμάτων. Διαθέτει πολλαπλά κανάλια, μπορεί να καταγράφει δεδομένα και είναι φωτόμετρο με λείζερ με δυνατότητα να πραγματοποιεί μετρήσεις αερολυμάτων σε πραγματικό χρόνο. Η φορητή του σχεδίαση επιτρέπει τη μέτρηση της σκόνης, αναθυμιάσεων, ομίχλης και καπνού και είναι κατάλληλο για αξιολογήσεις της ποιότητας της ατμόσφαιρας. Είναι κατάλληλο για εσωτερικούς χώρους καθώς και βιομηχανικούς χώρους εργασίας, εργοτάξια κατασκευών, περιβαλλοντικούς χώρους διάφορων εφαρμογών και πολλές άλλες εξωτερικές εφαρμογές. Μπορεί να μετρήσει ταυτόχρονα τις συγκεντρώσεις κλασμάτων μάζας διαχωρισμένες σε μεγέθη που αντιστοιχούν σε PM_{10} , $PM_{2.5}$, Respirable, PM_{10} και το συνολικό PM κλάσμα. Το εύρος των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων που δύναται να μετρήσει είναι από 0.001 mg/m^3 έως 150 mg/m^3 . Η ακρίβεια του οργάνου που αναφέρεται στα χαρακτηριστικά του είναι της τάξης $\pm 0.1\%$ της μέτρησης. Διαθέτει διάφορες λειτουργίες καταγραφής των μετρήσεων του τις οποίες μπορεί να τις καθορίσει ο χρήστης, όπως για πόση ώρα θα παίρνει μετρήσεις καθώς και τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των μετρήσεων (ανά 1 δευτερόλεπτο έως και ανά 1 ώρα). Μπορεί να καταγράψει έως και 45 μέρες για δειγματοληψία που γίνεται ανά 1 λεπτό. Το όργανο μπορεί να δημιουργήσει άμεσα γραφήματα των μετρήσεων. Η εξαγωγή των δεδομένων των μετρήσεων γίνεται πολύ εύκολα με τον Η/Υ. Με σύνδεση με καλώδιο USB και το λογισμικό της DustTrak το TrakPro είναι εφικτό να εξαχθούν τα δεδομένα πολύ γρήγορα στον υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία. Στη μελέτη το όργανο ήταν ρυθμισμένο να καταγράφει μετρήσεις ανά 1 δευτερόλεπτο, σε συνολικά χρονικά διαστήματα 15 λεπτών, επομένως ανά γεγονός συλλέγονταν 4 σετ μετρήσεων.



Εικόνα 4.5:DRX 8534[tsi.com,n.d.]

4.3 Πρωτόκολλο μετρήσεων – Χρονοδιάγραμμα

Το πρωτόκολλο μετρήσεων που ακολουθήθηκε καθώς και οι ακριβείς ημερομηνίες παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες. Από τις στιγμιαίες μετρήσεις επίσης επισημαίνονται οι στατιστικές τιμές που υπολογίστηκαν κατά την επεξεργασία των δεδομένων.

Πίνακας 4.1: Χρονοδιάγραμμα μετρήσεων Χειμώνα

Ημερομηνία \Παράμετρος	12/2/2021 Παρασκευή Αναχώρηση	19/2/2021 Παρασκευή Αναχώρηση	22/2/2021 Δευτέρα Άφιξη	27/2/2021 Σάββατο Άφιξη - Αναχώρηση	28/2/2021 Κυριακή Άφιξη - Αναχώρηση
Θερμοκρασία(°C)	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.
Σχετική υγρασία(%)	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.
Ταχύτητα ανέμου(m/s)	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.
PM₁(mg/m³)	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.
PM_{2.5}(mg/m³)	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.
RESP. (mg/m³)	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.
PM₁₀(mg/m³)	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.
PM_{TOTAL}(mg/m³)	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.- Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.
Επίπεδο θορύβου(dB)	Leq.,1h L ₉₀ ,L ₅₀ ,L ₁₀	Leq.,1h L ₉₀ ,L ₅₀ ,L ₁₀	Leq.,1h L ₉₀ ,L ₅₀ ,L ₁₀	Leq.,1h L ₉₀ ,L ₅₀ ,L ₁₀	Leq.,1h L ₉₀ ,L ₅₀ ,L ₁₀
CO(ppm)	Average	Average	Average	Average	Average
CO₂(ppm)	Average	Average	Average	Average	Average
NO(ppm)	Average	Average	Average	Average	Average
NO₂(ppm)	Average	Average	Average	Average	Average

Πίνακας 4.2: Χρονοδιάγραμμα μετρήσεων Άνοιξης

Ημερομηνία \Παράμετρος	5/04/2021 Δευτέρα Άφιξη	7/4/2021 Τετάρτη Άφιξη- Αναχώρηση	9/4/2021 Παρασκευή Αναχώρηση	12/4/2021 Δευτέρα Άφιξη	14/4/2021 Τετάρτη Άφιξη- Αναχώρηση	16/4/2021 Παρασκευή Αναχώρηση
Θερμοκρασία(°C)	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.
Σχετική υγρασία(%)	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.
Ταχύτητα ανέμου(m/s)	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.
PM₁(mg/m³)	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.
PM_{2.5}(mg/m³)	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.
RESP. (mg/m³)	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.
PM₁₀(mg/m³)	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.
PM_{TOTAL}(mg/m³)	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.
Επίπεδο θορύβου(dB)	Leq.,1h L ₉₀ ,L ₅₀ ,L ₁₀	Leq.,1h L ₉₀ ,L ₅₀ ,L ₁₀	Leq.,1h L ₉₀ ,L ₅₀ ,L ₁₀	Leq.,1h L ₉₀ ,L ₅₀ ,L ₁₀	Leq.,1h L ₉₀ ,L ₅₀ ,L ₁₀	Leq.,1h L ₉₀ ,L ₅₀ ,L ₁₀
CO(ppm)	Average	Average	Average	Average	Average	Average
CO₂(ppm)	Average	Average	Average	Average	Average	Average
NO(ppm)	Average	Average	Average	Average	Average	Average
NO₂(ppm)	Average	Average	Average	Average	Average	Average

Πίνακας 4.3: Χρονοδιάγραμμα μετρήσεων Καλοκαιριού

Ημερομηνία \Παράμετρος	14/06/2021 Δευτέρα Άφιξη	16/6/2021 Τετάρτη Άφιξη- Αναχώρηση	18/6/2021 Παρασκευή Αναχώρηση	21/6/2021 Δευτέρα Άφιξη	23/6/2021 Τετάρτη Άφιξη- Αναχώρηση	25/6/2021 Παρασκευή Αναχώρηση
Θερμοκρασία(°C)	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.
Σχετική υγρασία(%)	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.
Ταχύτητα ανέμου(m/s)	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.	Average Min.-Max.
PM₁(mg/m³)	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.
PM_{2.5}(mg/m³)	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.
RESP. (mg/m³)	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.
PM₁₀(mg/m³)	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.
PM_{TOTAL}(mg/m³)	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.	Average Median Min.-Max.
Επίπεδο θορύβου(dB)	Leq.,1h L ₉₀ ,L ₅₀ ,L ₁₀	Leq.,1h L ₉₀ ,L ₅₀ ,L ₁₀	Leq.,1h L ₉₀ ,L ₅₀ ,L ₁₀	Leq.,1h L ₉₀ ,L ₅₀ ,L ₁₀	Leq.,1h L ₉₀ ,L ₅₀ ,L ₁₀	Leq.,1h L ₉₀ ,L ₅₀ ,L ₁₀
CO(ppm)	Average	Average	Average	Average	Average	Average
CO₂(ppm)	Average	Average	Average	Average	Average	Average
NO(ppm)	Average	Average	Average	Average	Average	Average
NO₂(ppm)	Average	Average	Average	Average	Average	Average

4.4 Μεθοδολογία επεξεργασίας των μετρήσεων

Για την επεξεργασία των δεδομένων και τη κατασκευή διαγραμμάτων χρησιμοποιήθηκαν υπολογιστικά φύλλα Excel με εξαίρεση τη χρήση του λογισμικού MINITAB για τη κατασκευή των θηκογραμμάτων(boxplots).

Τα δεδομένα αρχικά χωρίστηκαν με βάση την ημερομηνία μετρήσεων και το γεγονός(άφιξη ή αναχώρηση). Σε κάθε αρχείο μορφής .xlsx κατασκευάστηκαν τρία διαφορετικά φύλλα εργασίας. Στο πρώτο εισάχθηκαν τα κλιματικά δεδομένα και οι συγκεντρώσεις αέριων ρύπων όπου επίσης γινόταν καταγραφή του αριθμού επιβατών, οχημάτων και το όνομα πλοίου, στο δεύτερο οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων και στο τρίτο τα επίπεδα του ήχου.

Με βάση την ημερομηνία , χωρίστηκαν σε σετ μετρήσεων του Χειμώνα , της Άνοιξης και του Καλοκαιριού. Με τη συγκέντρωση των δεδομένων με βάση την εποχή υπολογίστηκε η μέση, ελάχιστη, μέγιστη και η διάμεση τιμή τους με τις κατάλληλες εξισώσεις που προσφέρει το Excel.

Όσον αφορά τον ήχο , επειδή είναι μια λογαριθμική παράμετρος , η μέση τιμή του υπολογίζεται και αυτή λογαριθμικά , όπου με τη χρήση υπολογιστικών φύλλων είναι μια εύκολη και γρήγορη διαδικασία. Αρχικά διαιρούμε τα κελιά των μετρήσεων(A_n) με 10 ($B_n = A_n/10$) και στη συνέχεια αντι-λογαριθμίζουμε τη τιμή αυτή , απλά με την εξίσωση $C_n=10^{B_n}$. Στη συνέχεια , παίρνουμε το άθροισμα(εντολή SUM) της αντι-λογαριθμισμένης στήλης. Το άθροισμα αυτό είναι το σύνολο της ενέργειας του θορύβου στο διάστημα της μέτρησης(1 ώρα). Διαιρούμε το άθροισμα αυτό με το πλήθος των μετρήσεων($n=3600$) και στη συνέχεια υπολογίζουμε τη ισοδύναμη στάθμη ήχου πολλαπλασιάζοντας $L_{eq,1h}=10*\log(C_n)$. Εκτός της ισοδύναμης στάθμης ήχου, υπολογίστηκαν οι στατιστικοί παράμετροι L_{90} , L_{50} , L_{10} με τη χρήση της εξίσωσης PERCENTILE([διάστημα δεδομένων],k) όπου k το εκατοστημόριο που επιθυμούμε. Για παράδειγμα με την τιμή $k=0.9$ υπολογίζεται η τιμή L_{10} .

Από τα δεδομένα αυτά κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα διασποράς προκειμένου να μελετηθεί η εποχιακή διακύμανση που υπάρχει μεταξύ των τιμών. Στη περίπτωση των αιωρούμενων σωματιδίων κατασκευάστηκαν επίσης θηκογράμματα.

5 Αποτελέσματα

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων των μετρήσεων. Η ταξινόμηση των παραμέτρων έγινε ανάλογα την εποχή. Από την εκάστοτε ημέρα των μετρήσεων υπολογίστηκαν οι μέσες ωριαίες τιμές, η διάμεσος (median) τους καθώς και οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές των κλιματικών παραμέτρων, των ατμοσφαιρικών ρύπων και του επιπέδου θορύβου. Στη συνέχεια, από τις ωριαίες τιμές υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές των περιβαλλοντικών παραμέτρων ανά εποχή και ανά γεγονός (άφιξη και αναχώρηση πλοίων). Από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους επιλέχθηκε να γίνει ανάλυση μόνο των αιωρούμενων σωματιδίων, αφού από τους υπόλοιπους αέριους ρύπους (NO_x , CO , CO_2) δε παρατηρήθηκε διακύμανση ή υπέρβαση των οριακών τιμών.

5.1 Κλιματικά δεδομένα

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται συνοπτικά σε πίνακες τα κλιματικά δεδομένα, με διαχωρισμό ανάλογα το γεγονός. Επίσης, στα διαγράμματα παρουσιάζεται η διακύμανση της μέσης τιμής των παραμέτρων.

Αφίξεις

Πίνακας 5.1: Κλιματικά δεδομένα αφίξεων Χειμώνα

Χειμώνας	Ταχύτητα Ανέμου(m/s)	Θερμοκρασία(°C)	Υγρασία(%)
Μέση τιμή	0.49	19.02	53.66
Ελάχιστη τιμή	0.00	14.30	37.30
Μέγιστη τιμή	1.80	27.60	64.30
Διάμεσος	0.60	19.20	54.95

Πίνακας 5.2: Κλιματικά δεδομένα αφίξεων Άνοιξης

Άνοιξη	Ταχύτητα Ανέμου(m/s)	Θερμοκρασία(°C)	Υγρασία(%)
Μέση τιμή	0.59	22.62	44.88
Ελάχιστη τιμή	0.00	16.40	32.50
Μέγιστη τιμή	2.80	28.20	58.10
Διάμεσος	0.70	22.85	45.05

Πίνακας 5.3: Κλιματικά δεδομένα αφίξεων Καλοκαιριού

Καλοκαίρι	Ταχύτητα Ανέμου(m/s)	Θερμοκρασία(°C)	Υγρασία(%)
Μέση τιμή	0.31	21.63	71.94
Ελάχιστη τιμή	0.00	14.30	53.00
Μέγιστη τιμή	1.90	27.40	87.80
Διάμεσος	0.60	22.60	73.15

Αναχωρήσεις

Πίνακας 5.4: Κλιματικά δεδομένα αναχωρήσεων Χειμώνα

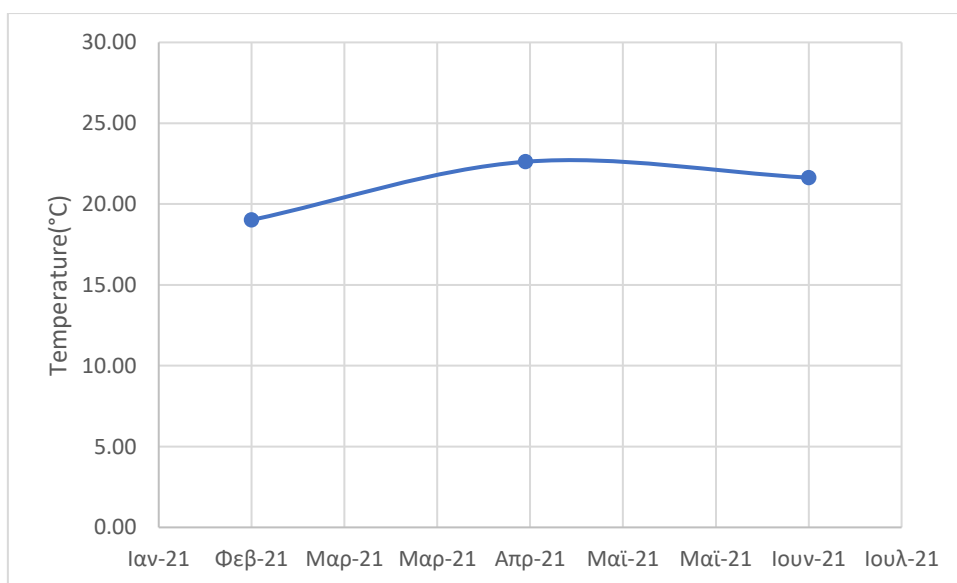
Χειμώνας	Ταχύτητα Ανέμου(m/s)	Θερμοκρασία(°C)	Υγρασία(%)
Μέση τιμή	0.57	15.40	65.61
Ελάχιστη τιμή	0.00	12.30	48.90
Μέγιστη τιμή	3.20	17.90	77.00
Διάμεσος	0.60	15.70	65.10

Πίνακας 5.5: Κλιματικά δεδομένα αναχωρήσεων Άνοιξης

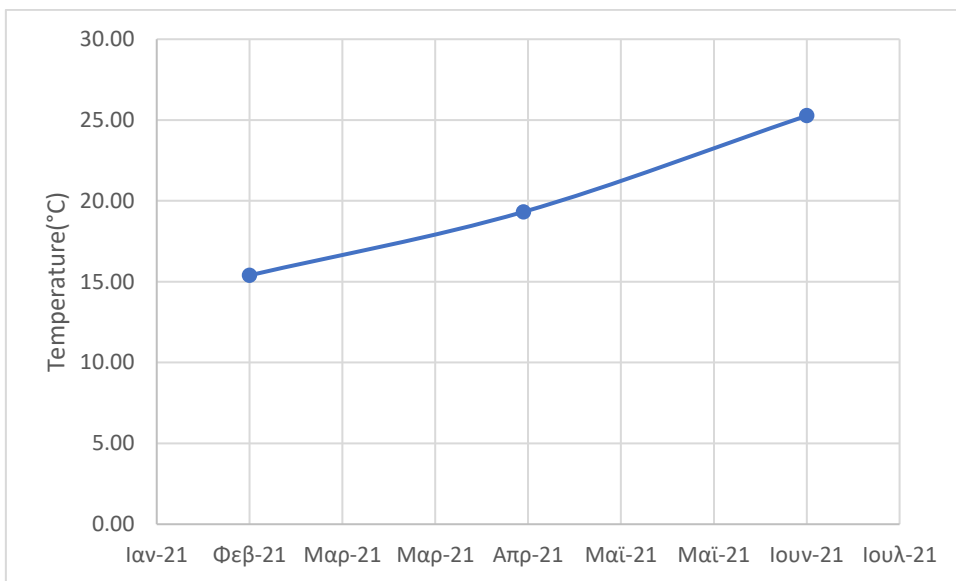
Άνοιξη	Ταχύτητα Ανέμου(m/s)	Θερμοκρασία(°C)	Υγρασία(%)
Μέση τιμή	0.84	19.32	55.06
Ελάχιστη τιμή	0.00	13.60	34.90
Μέγιστη τιμή	4.50	40.40	82.20
Διάμεσος	0.70	20.10	49.90

Πίνακας 5.6:Κλιματικά δεδομένα αναχωρήσεων Καλοκαιριού

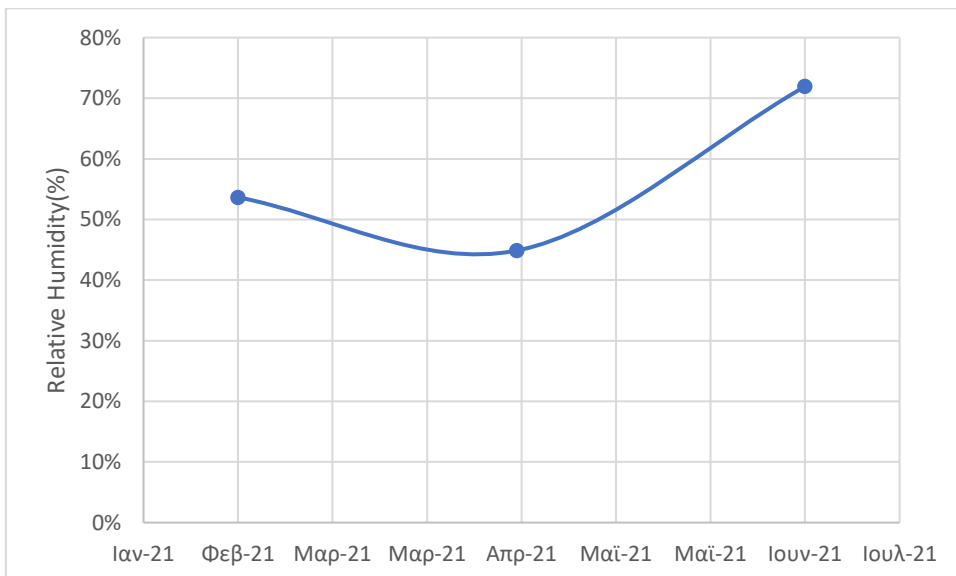
Καλοκαίρι	Ταχύτητα Ανέμου(m/s)	Θερμοκρασία(°C)	Υγρασία(%)
Μέση τιμή	0.43	25.27	59.05
Ελάχιστη τιμή	0.00	21.20	46.00
Μέγιστη τιμή	1.50	28.90	76.20
Διάμεσος	0.60	25.40	55.15



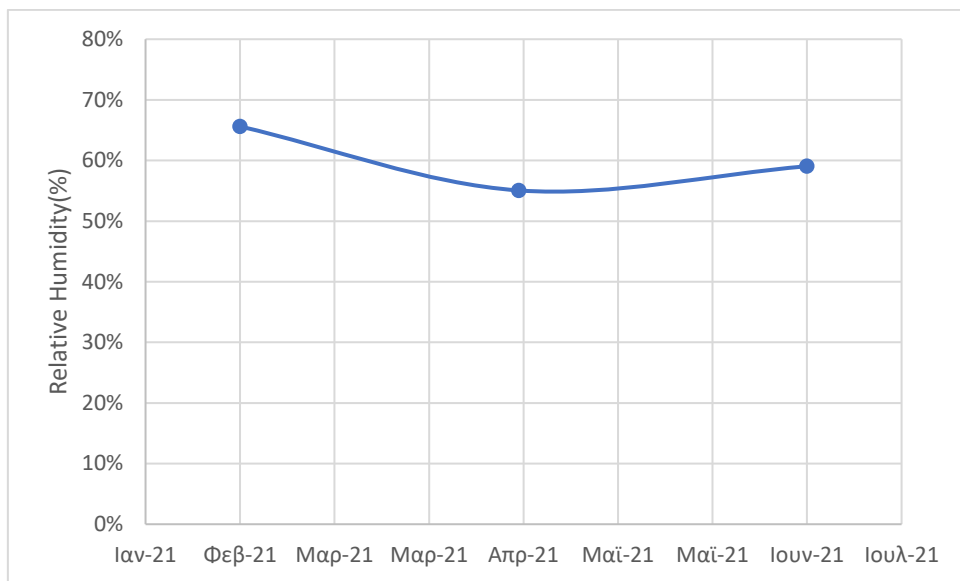
Διάγραμμα 5.1:Εποχιακή διακύμανση μέσης τιμής της θερμοκρασίας κατά την άφιξη



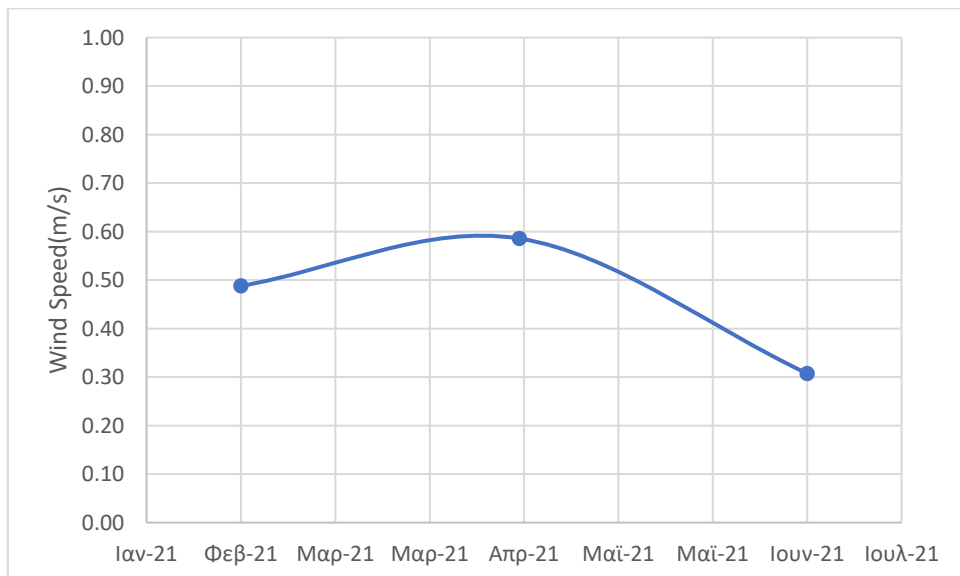
Διάγραμμα 5.2:Εποχιακή διακύμανση μέσης τιμής της θερμοκρασίας κατά την αναχώρηση



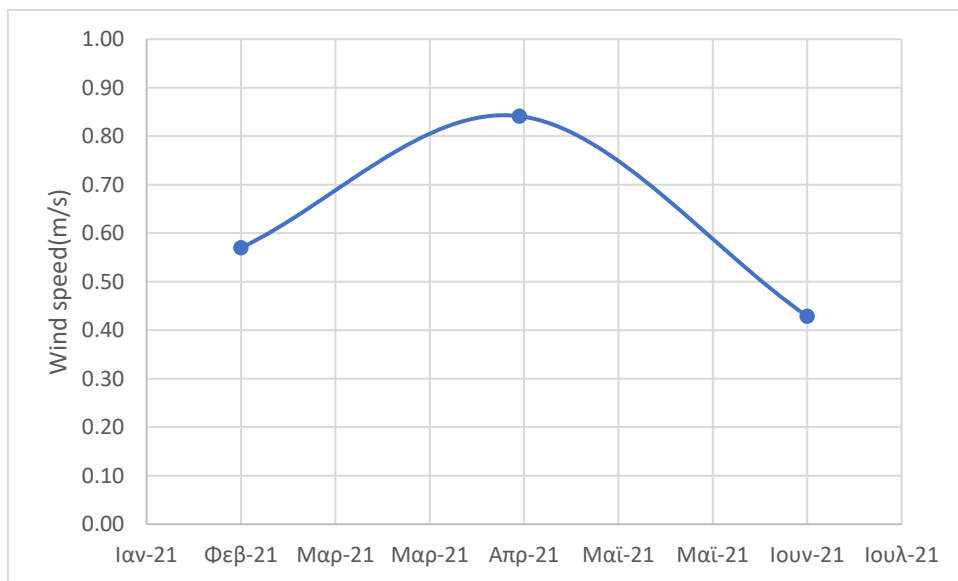
Διάγραμμα 5.3:Εποχιακή διακύμανση μέσης τιμής της σχετικής υγρασίας κατά την άφιξη



Διάγραμμα 5.4:Εποχιακή διακύμανση μέσης τιμής της σχετικής υγρασίας κατά την αναχώρηση



Διάγραμμα 5.5:Εποχιακή διακύμανση μέσης τιμής της ταχύτητας του ανέμου κατά την άφιξη



Διάγραμμα 5.6:Εποχιακή διακύμανση μέσης τιμής της ταχύτητας του ανέμου κατά την αναχώρηση

5.2 Αιωρούμενα σωματίδια

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται σε πίνακες οι τιμές που προέκυψαν από τις μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται τα PM_{10} , $PM_{2.5}$, Respirable (εισπνεόμενα αιωρούμενα σωματίδια), PM_{10} και PM_{TOTAL} . Στη συνέχεια με τη μορφή διαγραμμάτων αναλύονται οι δύο πιο σημαντικές κατηγορίες αιωρούμενων σωματιδίων, $PM_{2.5}$ και PM_{10} , που υπόκεινται στα Ευρωπαϊκά και Εθνικά νομοθετήματα.

5.2.1 Πίνακες

Αφίξεις

Πίνακας 5.7: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων Χειμώνα - Αφίξεις

Χειμώνας	$PM_{10}(\mu g/m^3)$	$PM_{2.5}(\mu g/m^3)$	RESP. ($\mu g/m^3$)	$PM_{10}(\mu g/m^3)$	$PM_{TOTAL}(\mu g/m^3)$
Μέση τιμή	9	13	17	23	27
Ελάχιστη τιμή	2	5	5	5	5
Μέγιστη τιμή	243	247	254	274	406
Διάμεσος	8	12	16	20	21

Πίνακας 5.8: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων Άνοιξης - Αφίξεις

Άνοιξη	$PM_{10}(\mu g/m^3)$	$PM_{2.5}(\mu g/m^3)$	RESP. ($\mu g/m^3$)	$PM_{10}(\mu g/m^3)$	$PM_{TOTAL}(\mu g/m^3)$
Μέση τιμή	10	13	19	31	41
Ελάχιστη τιμή	2	3	3	3	3
Μέγιστη τιμή	142	149	161	235	523
Διάμεσος	9	13	14	17	19

Πίνακας 5.9: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων Καλοκαιριού - Αφίξεις

Καλοκαίρι	$PM_{10}(\mu g/m^3)$	$PM_{2.5}(\mu g/m^3)$	RESP. ($\mu g/m^3$)	$PM_{10}(\mu g/m^3)$	$PM_{TOTAL}(\mu g/m^3)$
Μέση τιμή	15	18	23	32	38
Ελάχιστη τιμή	5	8	8	8	8
Μέγιστη τιμή	82	129	134	237	424
Διάμεσος	14	17	19	25	29

Αναχωρήσεις

Πίνακας 5.10: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων Χειμώνα - Αναχωρήσεις

Χειμώνας	$PM_{10}(\mu g/m^3)$	$PM_{2.5}(\mu g/m^3)$	RESP. ($\mu g/m^3$)	$PM_{10}(\mu g/m^3)$	$PM_{TOTAL}(\mu g/m^3)$
Μέση τιμή	9	12	15	20	23
Ελάχιστη τιμή	0	1	1	1	1
Μέγιστη τιμή	135	142	158	211	585
Διάμεσος	6	9	11	14	16

Πίνακας 5.11: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων Άνοιξης - Αναχωρήσεις

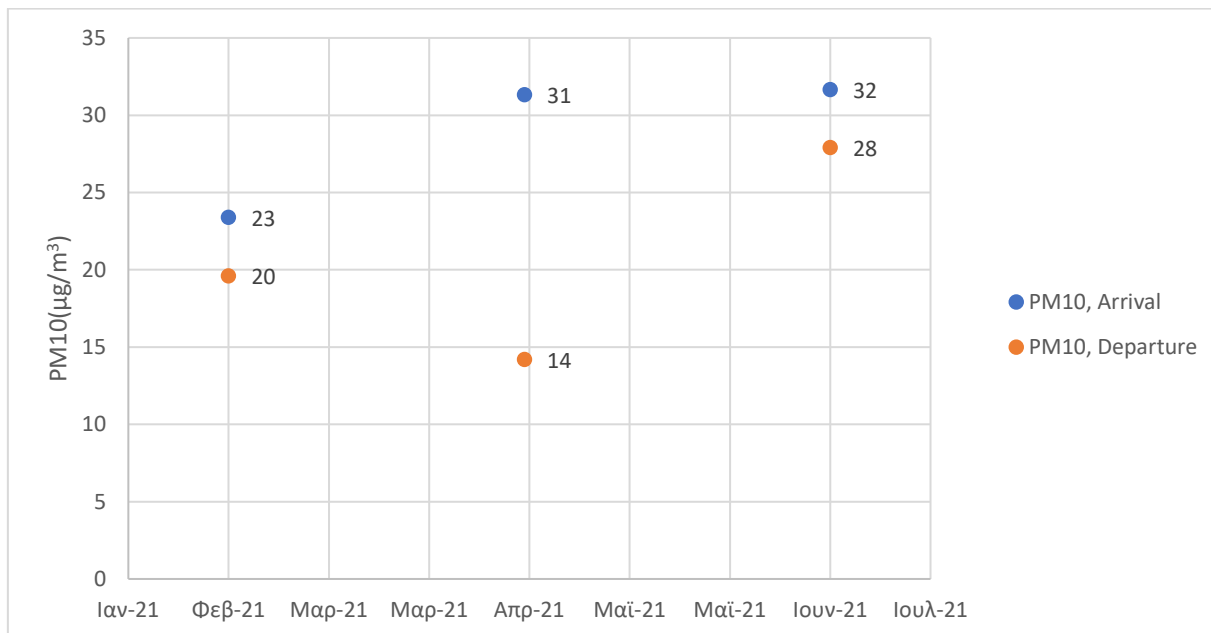
Άνοιξη	PM ₁ (μg/m ³)	PM _{2.5} (μg/m ³)	RESP. (μg/m ³)	PM ₁₀ (μg/m ³)	PM _{TOTAL} (μg/m ³)
Μέση τιμή	7	9	11	14	18
Ελάχιστη τιμή	0	0	1	1	1
Μέγιστη τιμή	154	156	162	341	695
Διάμεσος	6	8	9	13	14

Πίνακας 5.12: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων Καλοκαιριού - Αναχωρήσεις

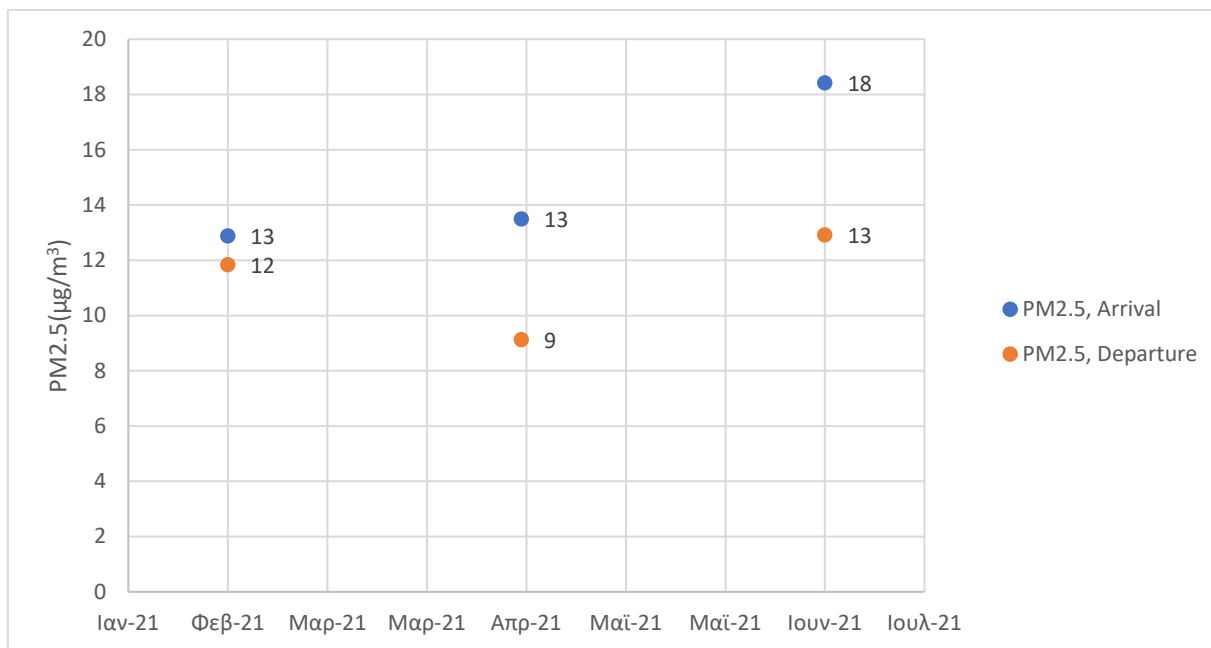
Καλοκαίρι	PM ₁ (μg/m ³)	PM _{2.5} (μg/m ³)	RESP. (μg/m ³)	PM ₁₀ (μg/m ³)	PM _{TOTAL} (μg/m ³)
Μέση τιμή	10	13	17	28	37
Ελάχιστη τιμή	2	3	3	3	3
Μέγιστη τιμή	87	92	100	209	503
Διάμεσος	8	15	20	28	33

5.2.2 Μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η εποχιακή διακύμανση των μέσων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων κατά την άφιξη και αναχώρηση των πλοίων.



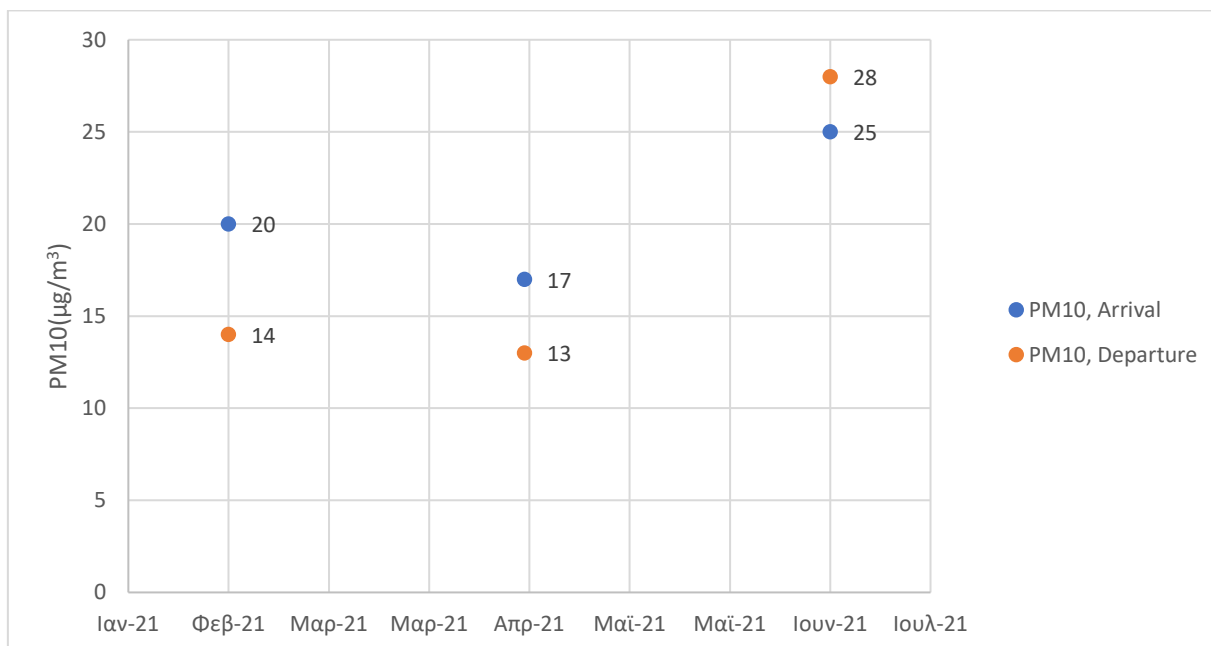
Διάγραμμα 5.7: Εποχιακή διακύμανση μέσης τιμής PM₁₀



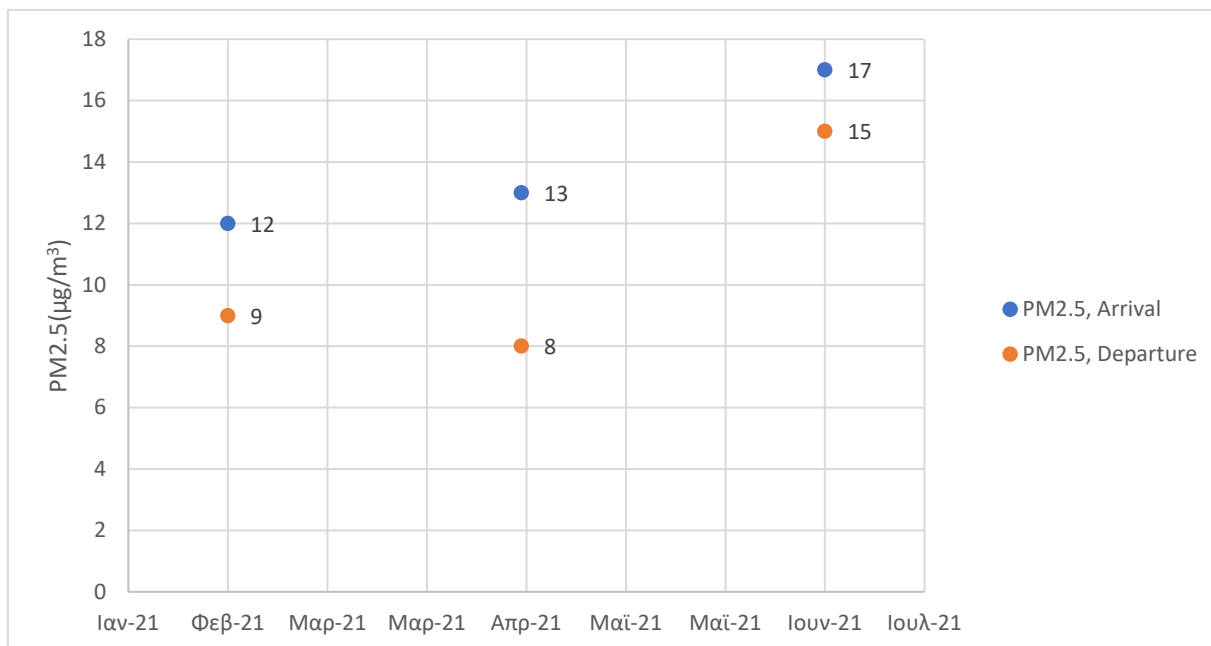
Διάγραμμα 5.8:Εποχιακή διακύμανση μέσης τιμής $PM_{2.5}$

5.2.3 Διάμεσες τιμές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η εποχιακή διακύμανση της διάμεσης τιμής των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων κατά την άφιξη και αναχώρηση των πλοίων.



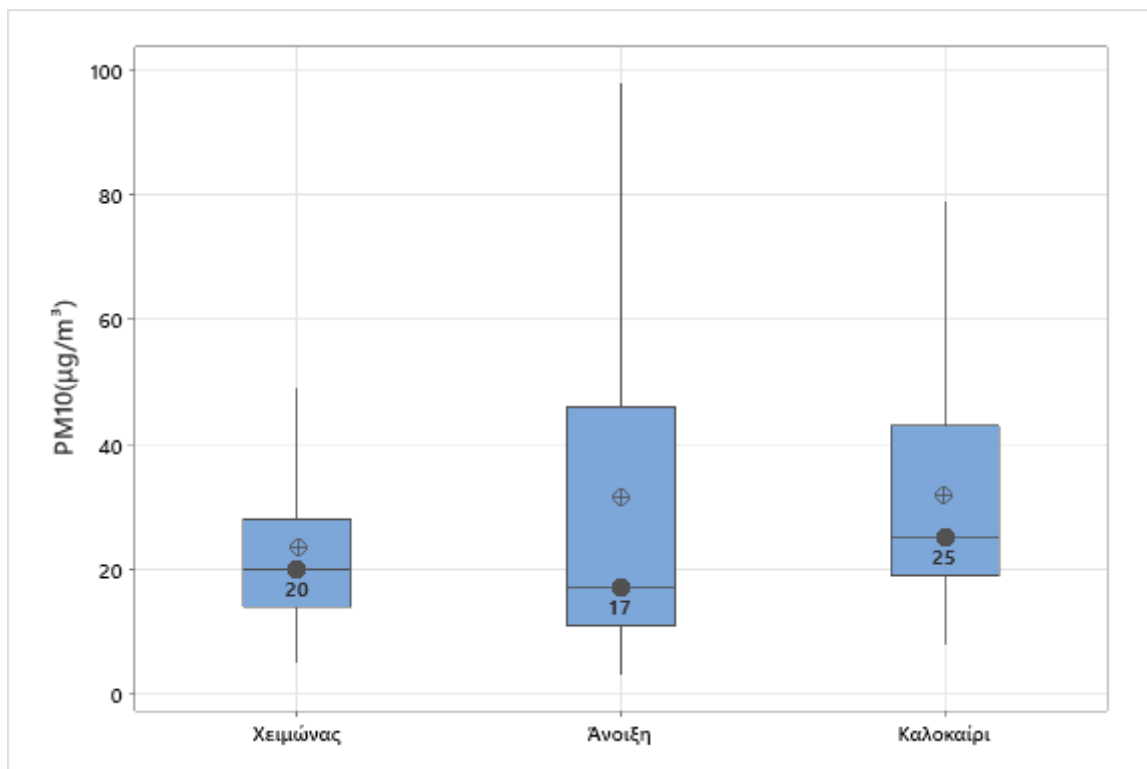
Διάγραμμα 5.9:Εποχιακή διακύμανση της διάμεσης(median) τιμής PM_{10}



Διάγραμμα 5.10:Εποχιακή διακύμανση της διάμεσης(median) τιμής $PM_{2.5}$

5.2.4 Θηκογράμματα των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων

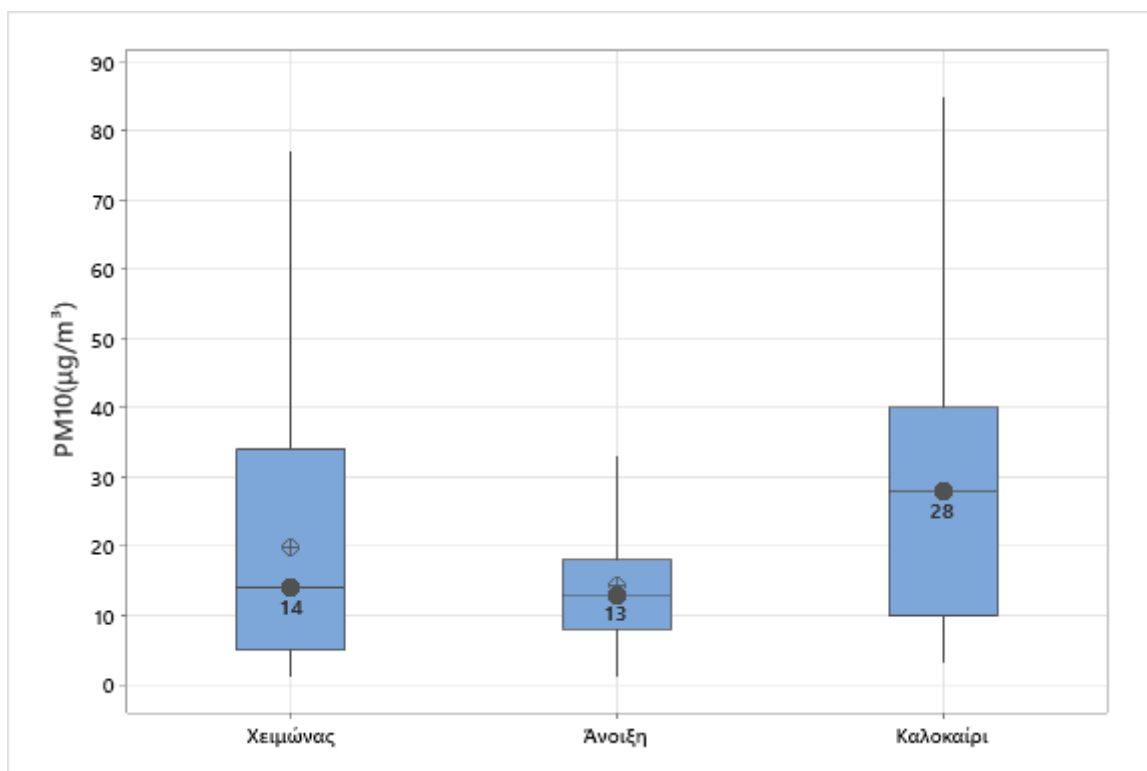
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται τα θηκογράμματα(boxplots) των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων κατά την άφιξη και αναχώρηση των πλοίων. Το θηκόγραμμα είναι ένας γραφικός τρόπος παρουσίασης πέντε περιληπτικών αριθμητικών δεδομένων μιας σειράς παρατηρήσεων. Συγκεκριμένα απεικονίζει τη μικρότερη παρατήρηση του πρώτου τεταρτημόριου (Q1), της διάμεσου(median), του τρίτου τεταρτημόριου(Q3) και της μεγαλύτερης παρατήρησης.



Διάγραμμα 5.11:Boxplot συγκεντρώσεων PM₁₀ κατά την άφιξη

Πίνακας 5.13: Αριθμητικά δεδομένα Διαγράμματος 5.11

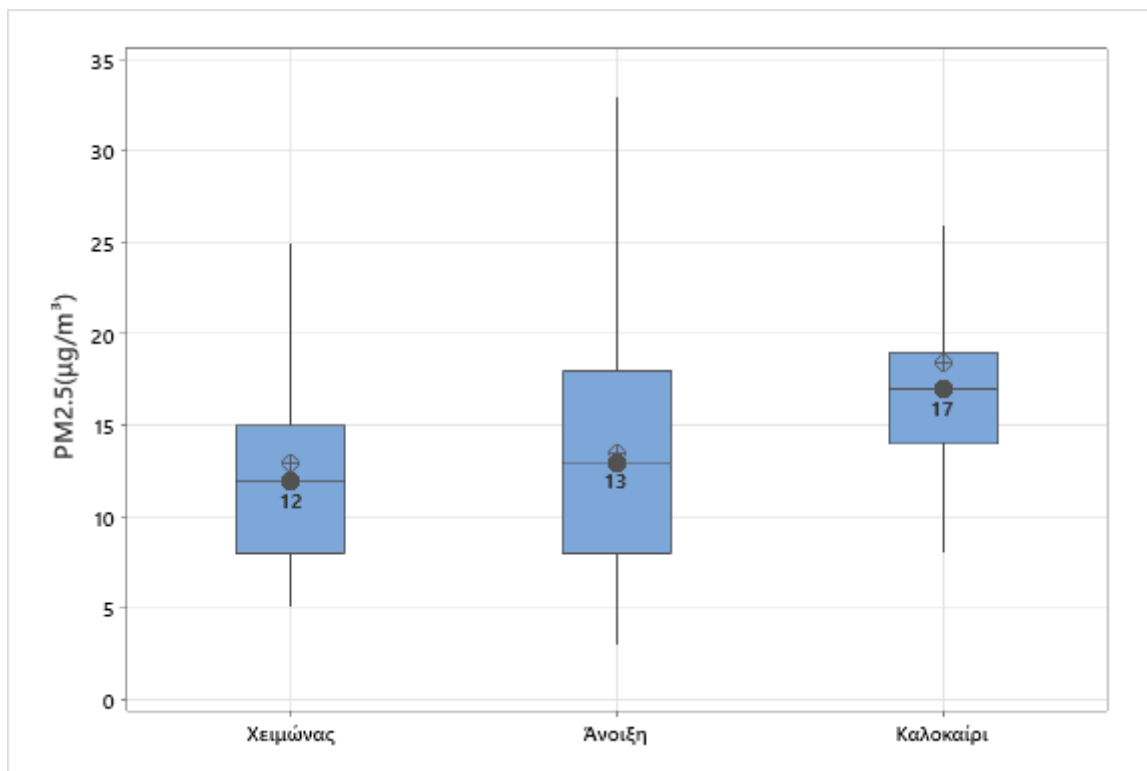
Εποχή	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Q1	Διάμεσος	Q3	Μέγιστη τιμή	Εύρος	IQR
Χειμώνας	23	5	14	20	28	274	269	14
Άνοιξη	31	3	11	17	46	235	232	35
Καλοκαίρι	32	8	19	25	43	237	229	24



Διάγραμμα 5.12:Boxplot συγκεντρώσεων PM_{10} κατά την αναχώρηση

Πίνακας 5.14:Αριθμητικά δεδομένα Διαγράμματος 5.12

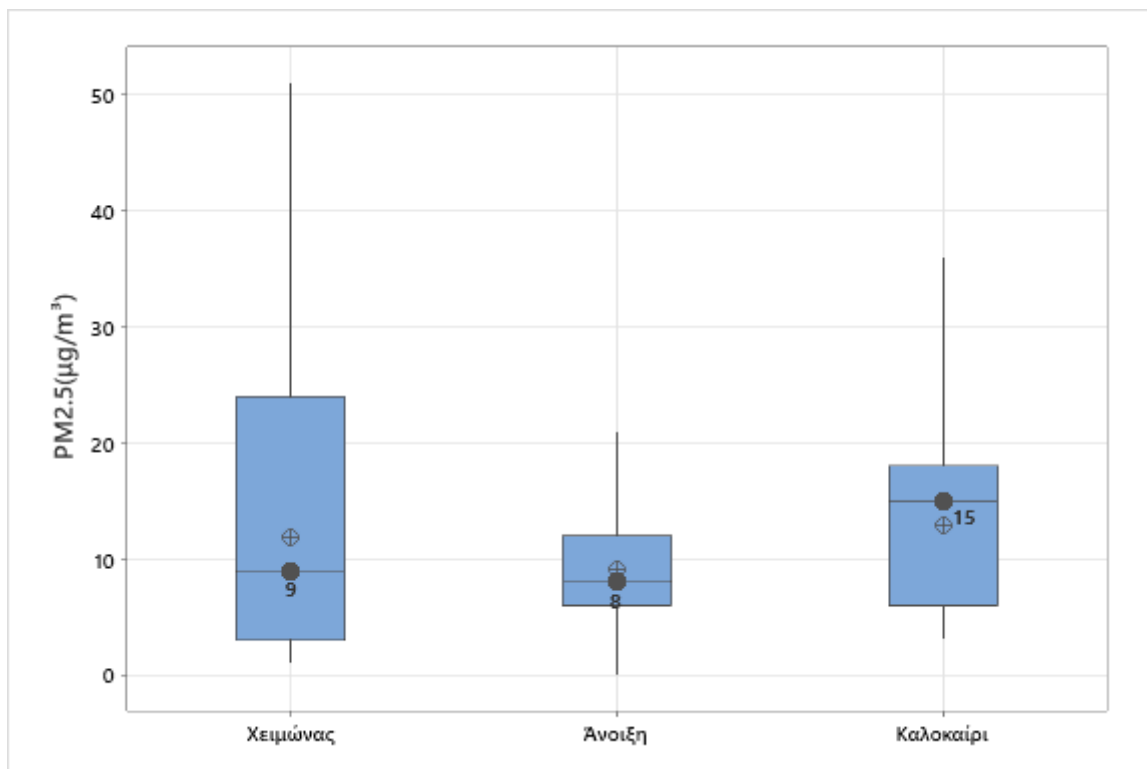
Εποχή	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Q1	Διάμεσος	Q3	Μέγιστη τιμή	Εύρος	IQR
Χειμώνας	20	1	5	14	34	211	210	29
Άνοιξη	14	1	8	13	18	341	340	10
Καλοκαίρι	28	3	10	28	40	209	206	30



Διάγραμμα 5.13:Boxplot συγκεντρώσεων PM_{2.5} κατά την άφιξη

Πίνακας 5.15:Αριθμητικά δεδομένα Διαγράμματος 5.13

Εποχή	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Q1	Διάμεσος	Q3	Μέγιστη τιμή	Εύρος	IQR
Χειμώνας	13	5	8	12	15	247	242	7
Άνοιξη	13	3	8	13	18	149	146	10
Καλοκαίρι	18	8	14	17	19	129	121	5

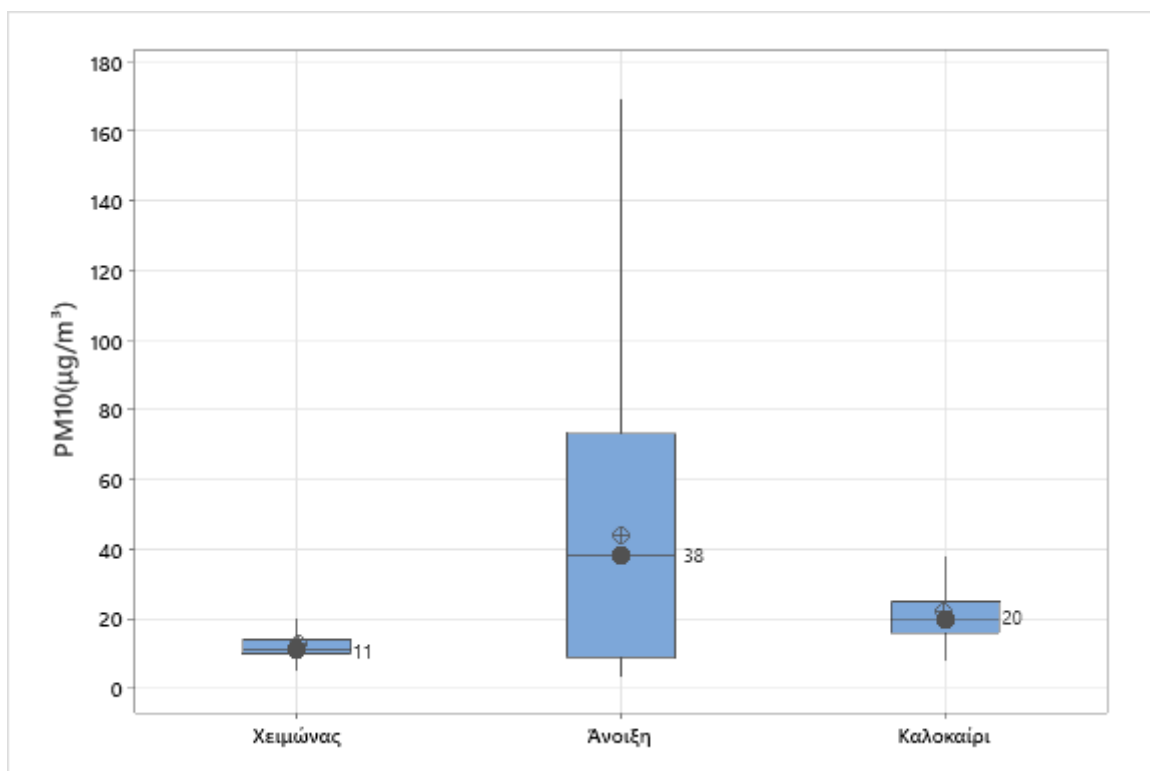


Διάγραμμα 5.14:Boxplot συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$ κατά την αναχώρηση

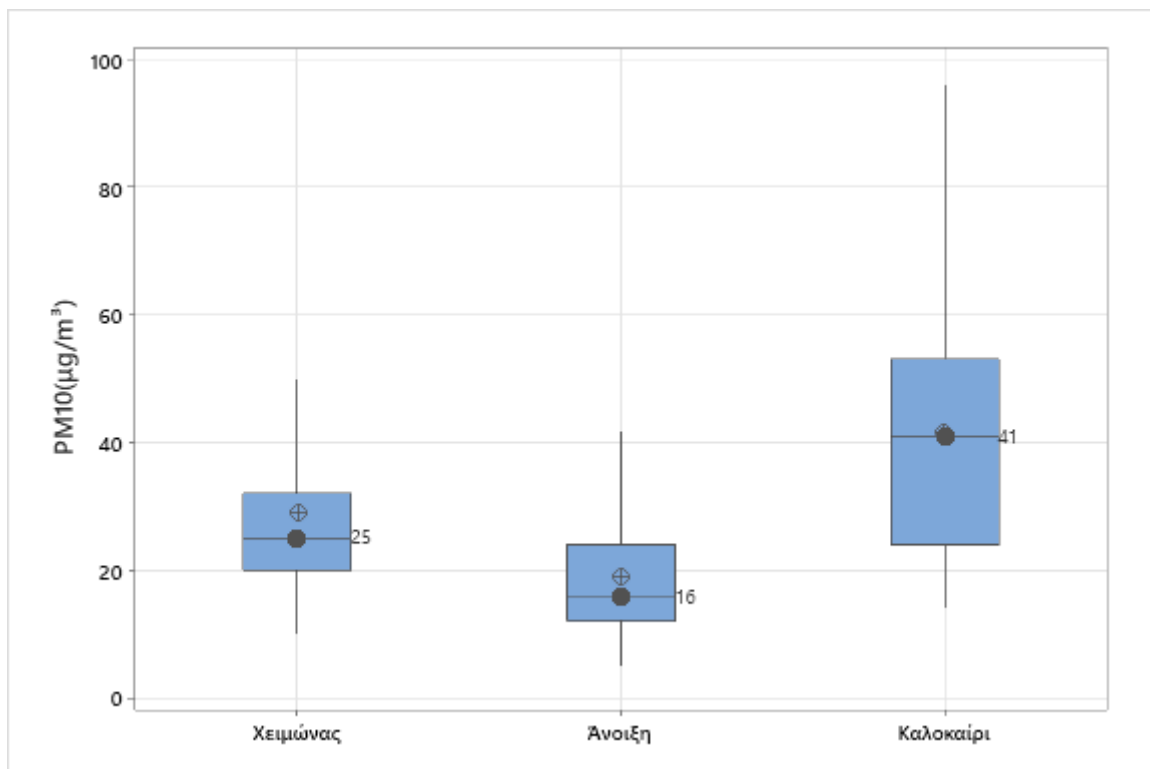
Πίνακας 5.16:Αριθμητικά δεδομένα Διαγράμματος 5.14

Εποχή	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Q1	Διάμεσος	Q3	Μέγιστη τιμή	Εύρος	IQR
Χειμώνας	12	1	3	9	24	142	141	21
Άνοιξη	9	0	6	8	12	156	156	6
Καλοκαίρι	13	3	6	15	18	92	89	12

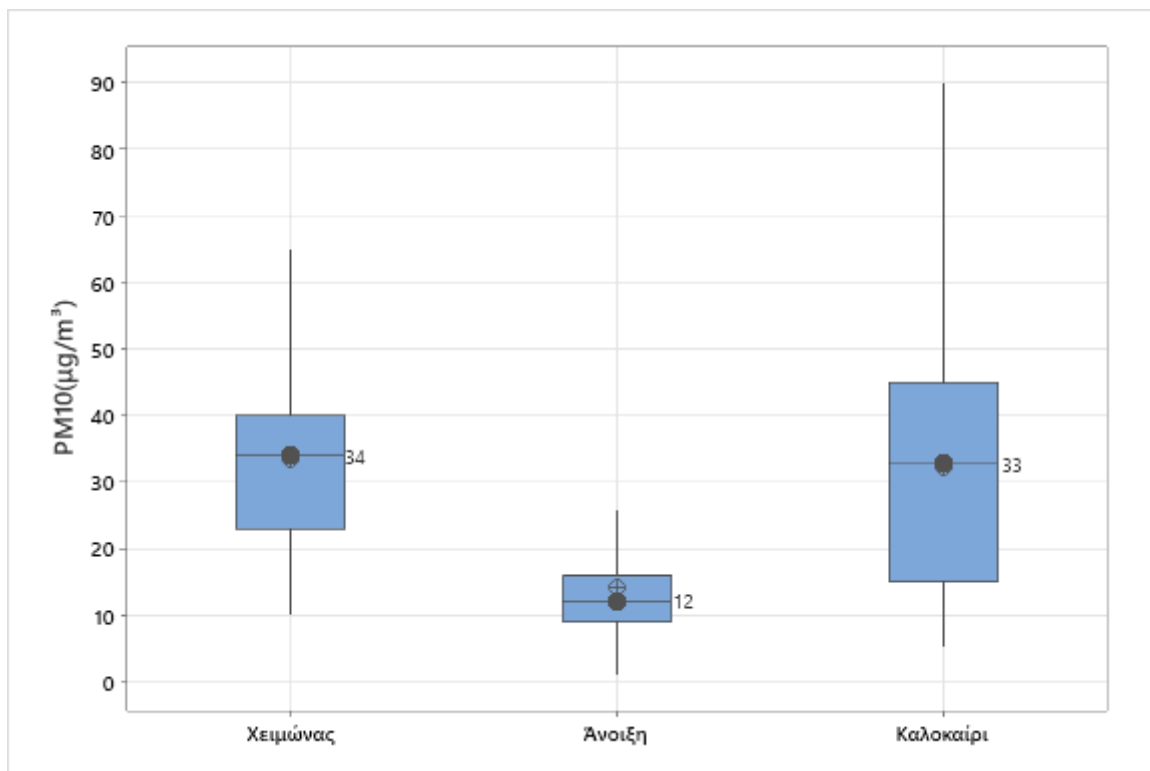
Επίσης κατασκευάστηκαν διαγράμματα με βάση την ημέρα των μετρήσεων , ώστε γίνει μια απεικόνιση της αβεβαιότητας των μετρήσεων που υπάρχει στις μετρήσεις πεδίου.



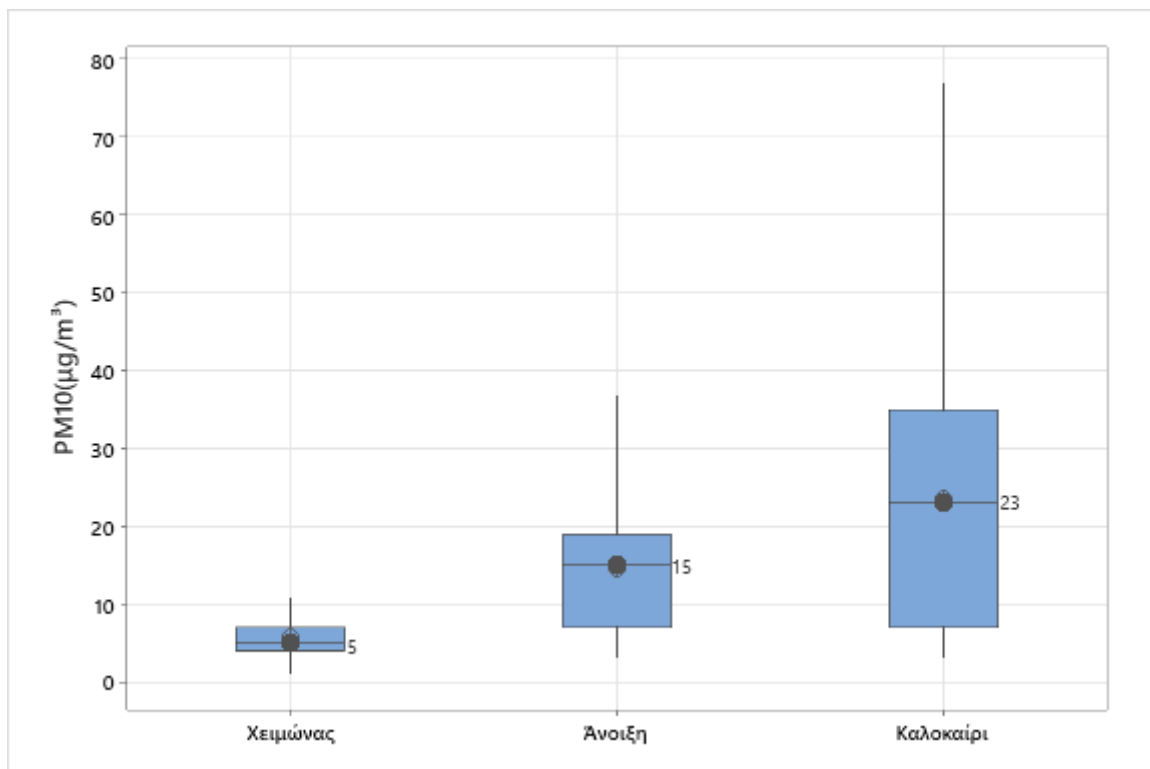
Διάγραμμα 5.15:Boxplot PM_{10} - Δευτέρα κατά την άφιξη



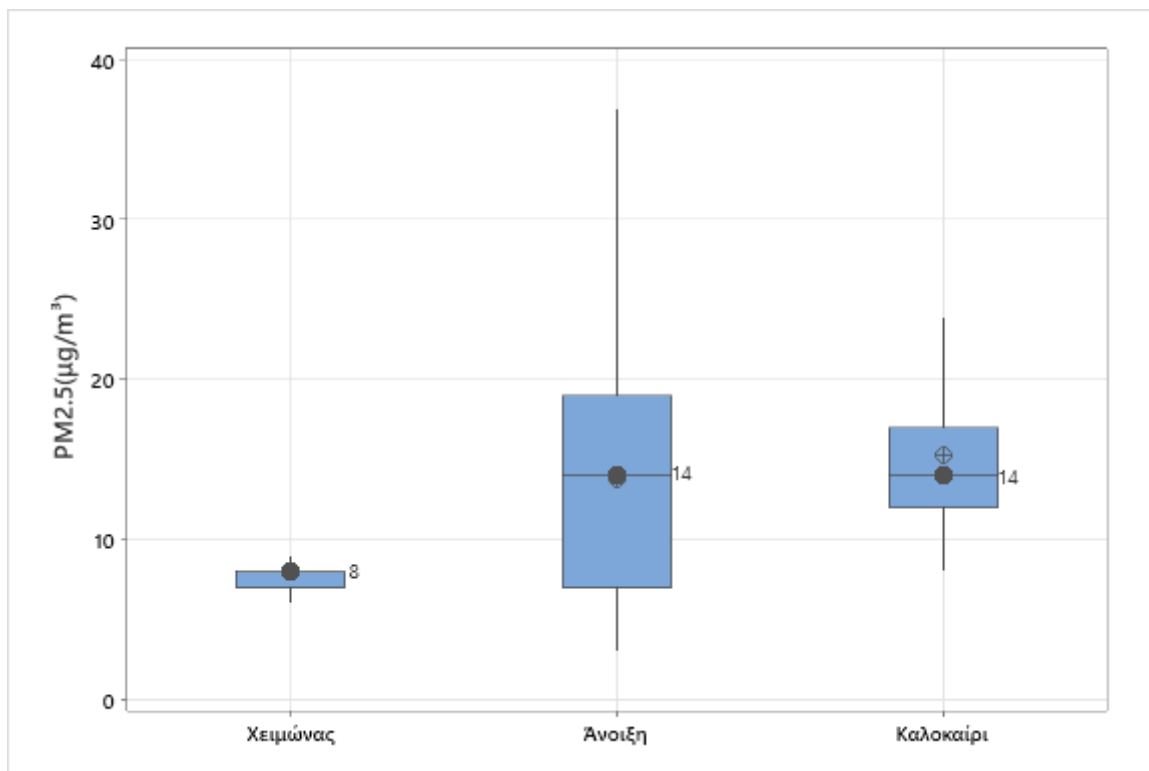
Διάγραμμα 5.16:Boxplot PM_{10} - Τετάρτη κατά την άφιξη



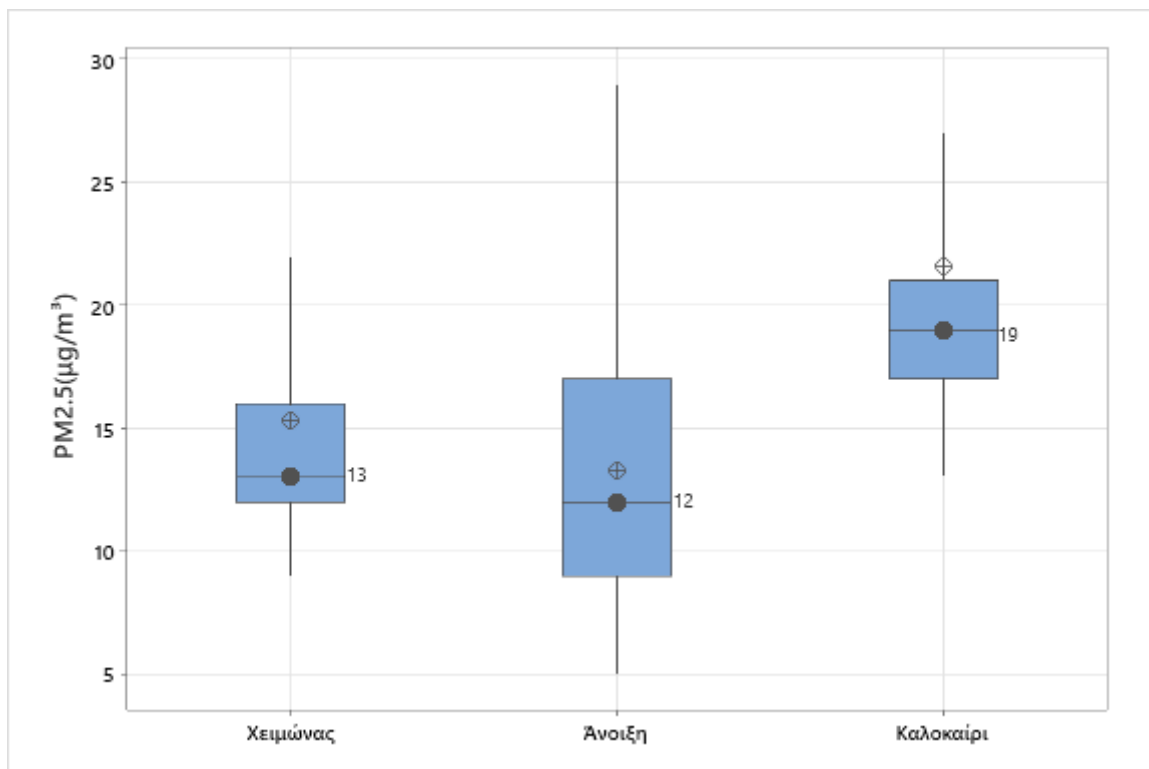
Διάγραμμα 5.17: Boxplot PM_{10} - Τετάρτη κατά την αναχώρηση



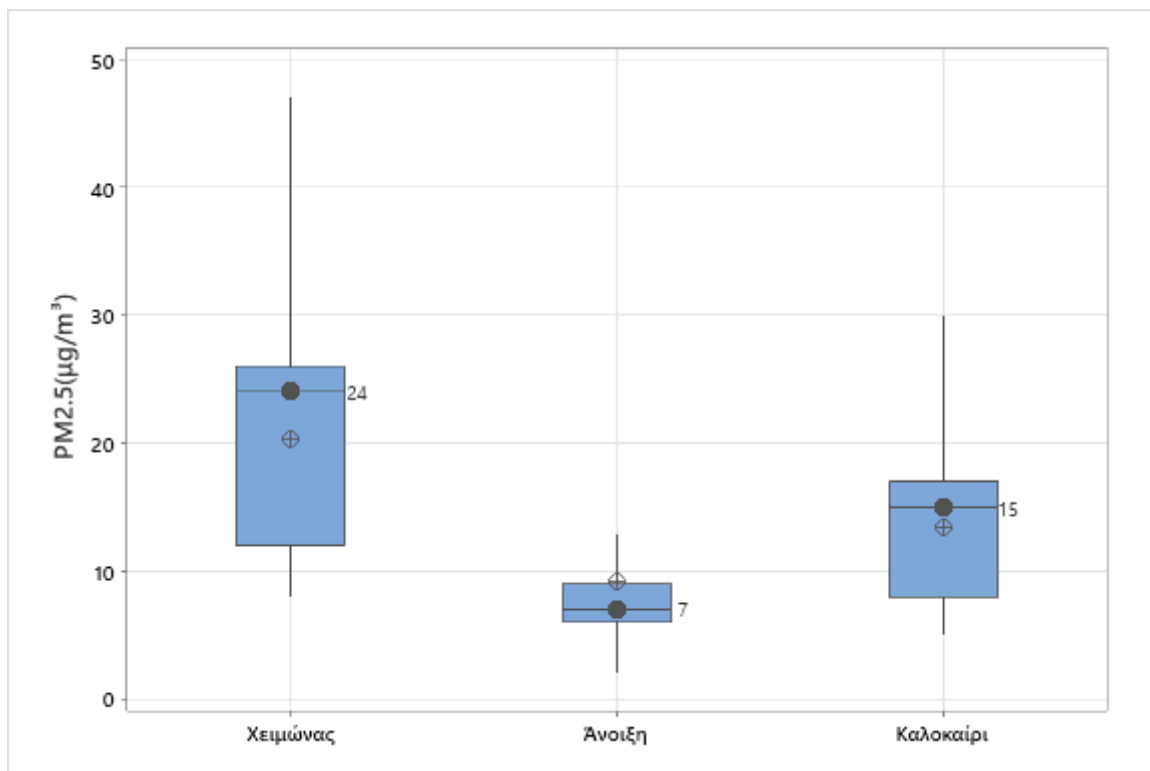
Διάγραμμα 5.18: Boxplot PM_{10} - Παρασκευή κατά την αναχώρηση



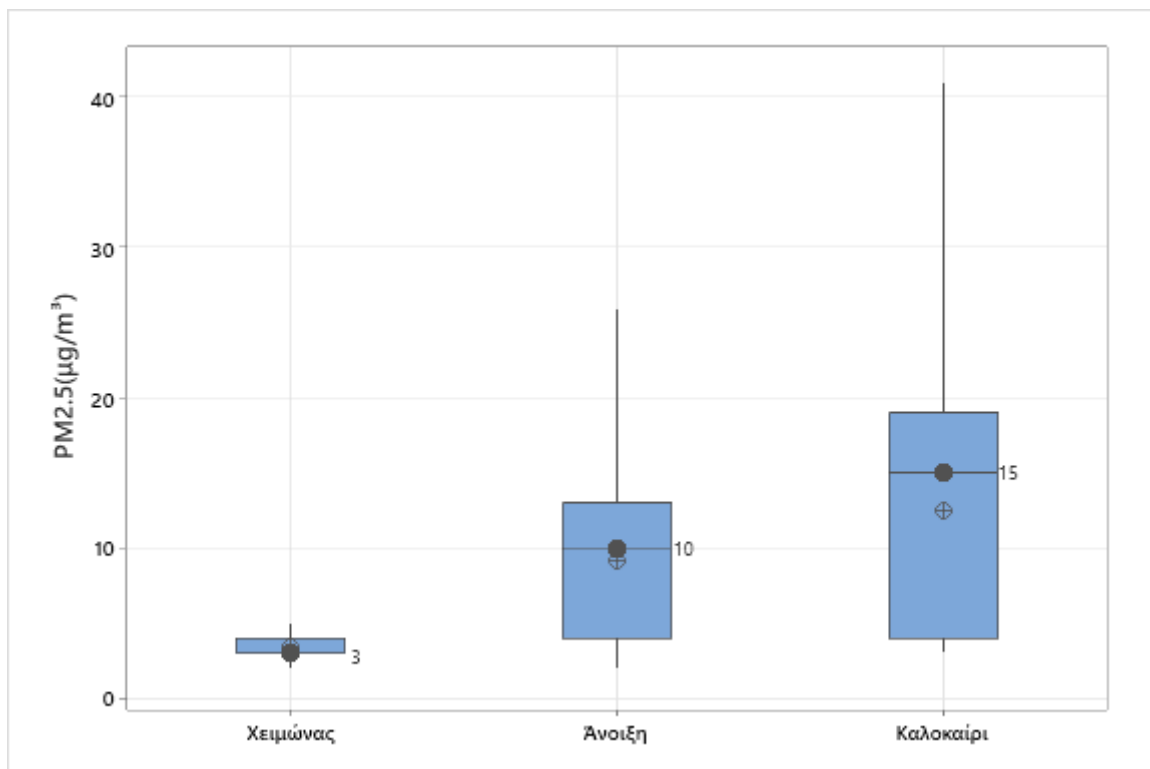
Διάγραμμα 5.19: Boxplot PM_{2.5} - Δευτέρα κατά την άφιξη



Διάγραμμα 5.20: Boxplot PM_{2.5} - Τετάρτη κατά την άφιξη



Διάγραμμα 5.21: Boxplot PM_{2.5} - Τετάρτη κατά την αναχώρηση



Διάγραμμα 5.22: Boxplot PM_{2.5} - Παρασκευή κατά την αναχώρηση

5.3 Επίπεδα θορύβου

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι μέσες ωριαίες ισοδύναμες στάθμες ήχου, οι μέγιστες και ελάχιστες στάθμες ήχου που παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, χωρισμένες σε εποχές και ανάλογα την άφιξη και την αναχώρηση. Επίσης υπολογίστηκαν οι στατιστικοί δείκτες L_{90} , L_{50} και L_{10} . Ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες παρατηρήθηκε υπέρβαση των περιβαλλοντικών ορίων θορύβου που έχει ορίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση.

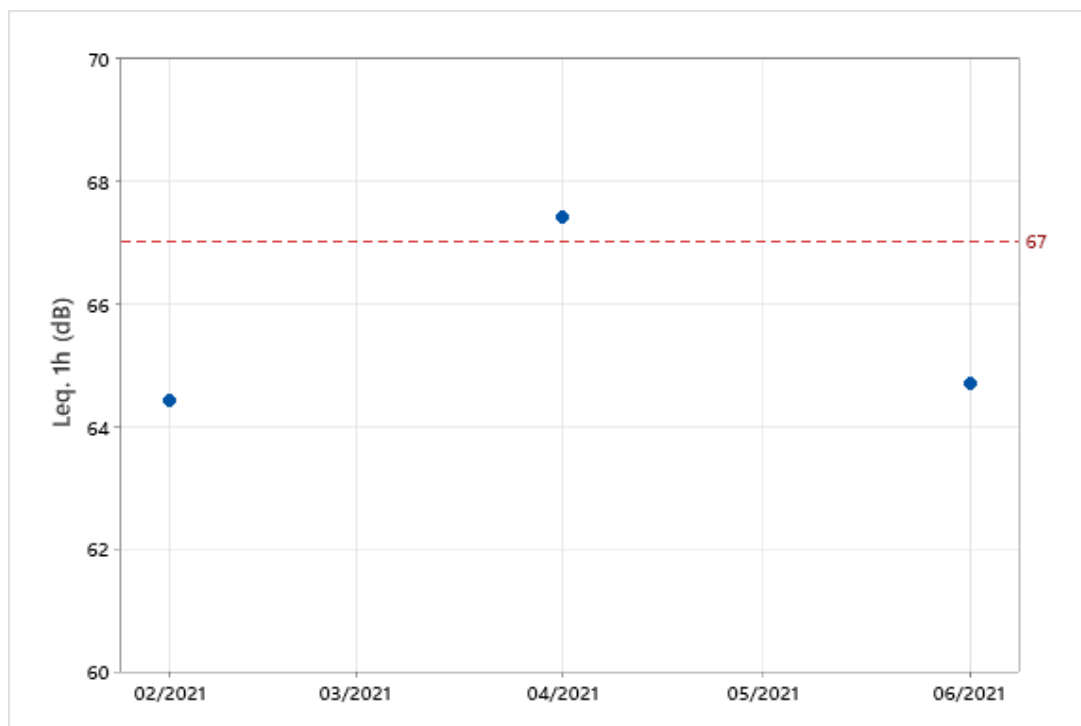
Πίνακας 5.17: Επίπεδα θορύβου κατά την άφιξη του πλοίου

Αφίξεις	$L_{eq,1h}(dB)$	Max.(dB)	Min.(dB)	$L_{90}(dB)$	$L_{50}(dB)$	$L_{10}(dB)$
Χειμώνας	64.4	86.2	40.8	60.4	62.8	66
Άνοιξη	67.4	81.3	52.3	58.1	59.9	72.8
Καλοκαίρι	64.7	81.1	40	52.4	65	67.4

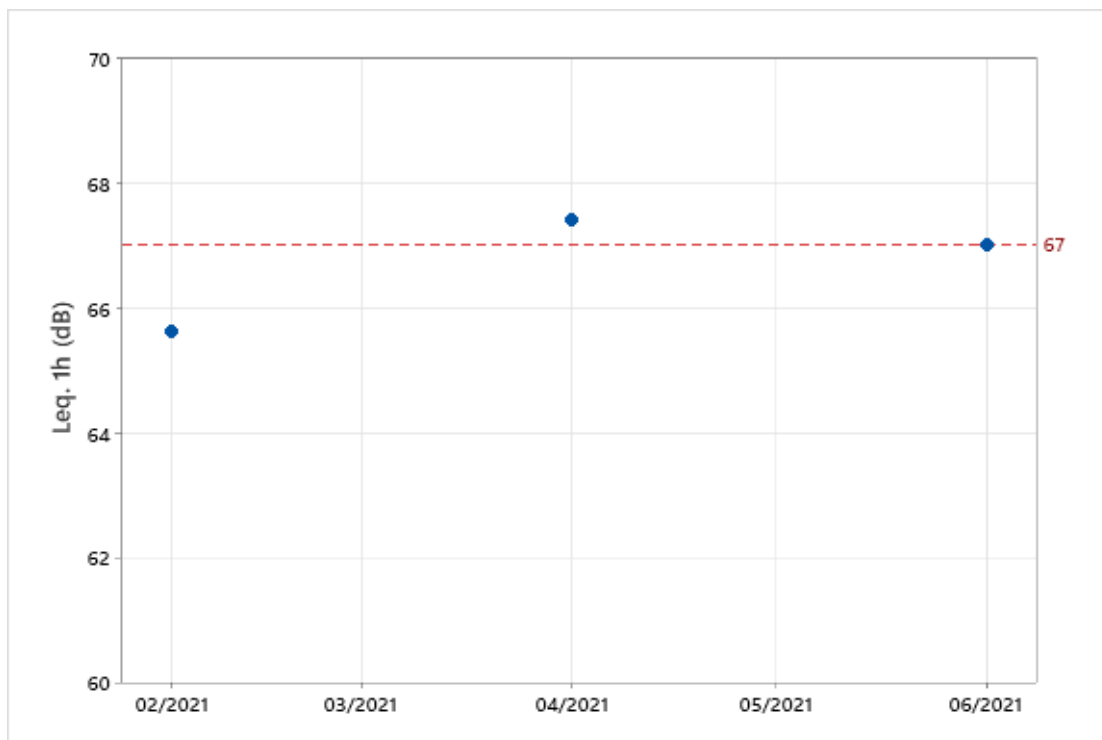
Πίνακας 5.18: Επίπεδα θορύβου κατά την αναχώρηση του πλοίου

Αναχωρήσεις	$L_{eq,1h}(dB)$	Max.(dB)	Min.(dB)	$L_{90}(dB)$	$L_{50}(dB)$	$L_{10}(dB)$
Χειμώνας	65.6	82.7	44.5	61.6	62.9	67.7
Άνοιξη	67.4	88.2	42	66	67.1	68.4
Καλοκαίρι	67	82.1	41.5	61	64.1	70.3

Για καλύτερη απεικόνιση των δεδομένων καθώς και για τη σύγκριση τους με την οριακή τιμή κατασκευάστηκαν διαγράμματα διασποράς. Κατά τους θερινούς μήνες που υπάρχει αυξημένη κίνηση στο χώρο του λιμένα υπήρξε υπέρβαση του ορίου καθώς και στις τιμές της Άνοιξης, αφού πραγματοποιούνταν εργασίες στον Ναύσταθμο Κρήτης.



Διάγραμμα 5.23: Μέση τιμή $L_{eq,1h}$ κατά την άφιξη του πλοίου



Διάγραμμα 5.24: Μέση τιμή $Leq,1h$ κατά την αναχώρηση του πλοίου

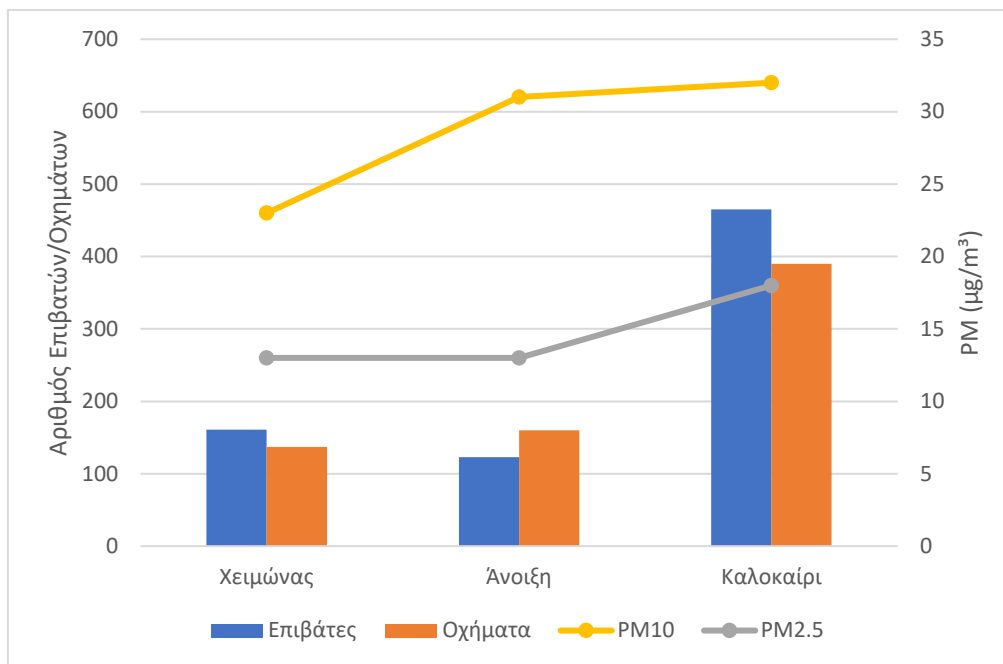
5.4 Συσχέτιση αιωρούμενων σωματιδίων με τον αριθμό επιβατών και οχημάτων

Στην ενότητα αυτή έγινε μια προσπάθεια συσχέτισης των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων με τον αριθμό των επιβατών και οχημάτων. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα δεδομένα που αποκτήθηκαν από τα πρακτορεία ακτοπλοϊκών εταιριών.

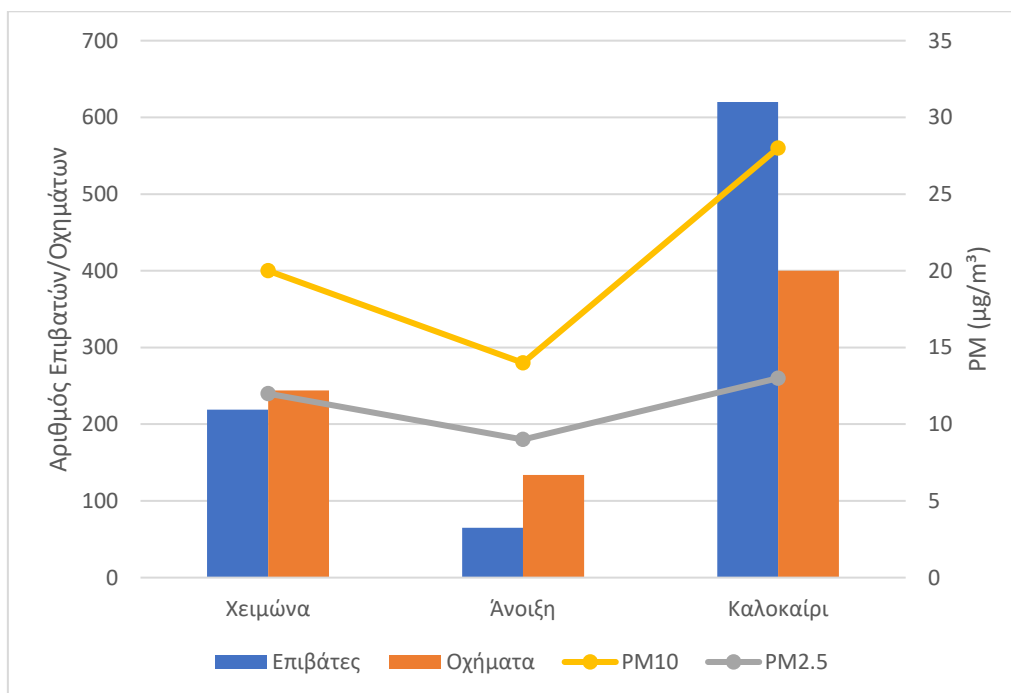
Πίνακας 5.19: Επιβατική κίνηση του λιμένα της Σούδας

Γεγονός Εποχή/Παράμετρος	Άφιξη		Αναχώρηση		Σύνολο	
	Επιβάτες	Οχήματα	Επιβάτες	Οχήματα	Επιβάτες	Οχήματα
Χειμώνας	161	137	219	244	380	381
Άνοιξη	123	160	65	134	188	294
Καλοκαίρι	465	390	620	400	1085	790
Σύνολο	749	687	904	778	1653	1465

Η υπόθεση ήταν ότι η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων συνδέεται άμεσα με την αυξημένη κίνηση επιβατών κατά τους θερινούς μήνες, η οποία επιβεβαιώνεται μέσω των διαγραμμάτων [Διάγραμμα 5.25] και [Διάγραμμα 5.26]. Η μόνη εξαίρεση την Άνοιξη, όπου στο διάστημα των μετρήσεων υπήρξαν δύο ημέρες με έντονο επεισόδιο μεταφοράς Αφρικάνικης σκόνης στη Κρήτη, το οποίο επηρέασε τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων.



Διάγραμμα 5.25: Συνδυαστικό διάγραμμα αριθμού επιβατών/οχημάτων και συγκεντρώσεων PM κατά την άφιξη



Διάγραμμα 5.26: Συνδυαστικό διάγραμμα αριθμού επιβατών/οχημάτων και συγκεντρώσεων PM κατά την αναχώρηση

Επίσης υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης και η τιμή σημαντικότητας του μεταξύ των εξεταζόμενων παραμέτρων προκειμένου να δούμε κατά πόσο όντως σχετίζονται μεταξύ τους τα δεδομένα, δηλαδή η επιβατική κίνηση με τις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων. Όσο πιο κοντά είναι ο συντελεστής στη μονάδα τόσο πιο ισχυρή είναι η γραμμική σχέση μεταξύ των παραμέτρων. Στον [Πίνακα 5.20] παρατηρούμε ότι οι τιμές του συντελεστή για την πλειοψηφία των παραμέτρων προσεγγίζει πολύ κοντά στη μονάδα άρα έχουμε ισχυρή γραμμική συσχέτιση, όμως η τιμή σημαντικότητας (p-value) είναι μεγαλύτερη του επιπέδου σημαντικότητας (5%) επομένως τα αποτελέσματα δεν είναι στατιστικά

σημαντικά. Ο λόγος που η τιμή σημαντικότητας υπερβαίνει το επίπεδο σημαντικότητας οφείλεται στο ότι γίνεται σύγκριση μεταξύ ωριαίων δεδομένων, στη περίπτωση αυτή οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, με ημερήσια δεδομένα δηλαδή τους αριθμούς των επιβατών και οχημάτων. Επίσης το δείγμα ήταν σχετικά μικρό ($n < 25$).

Πίνακας 5.20: Συντελεστές συσχέτισης συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων με την επιβατική κίνηση

Παράμετρος 1	Παράμετρος 2	Συντελεστής συσχέτισης	Διάστημα εμπιστοσύνης	p-value
PM₁₀ ,άφιξη	Επιβάτες	0.500	95%	0.667
	Οχήματα	0.650	95%	0.550
PM₁₀ ,αναχώρηση	Επιβάτες	0.986	95%	0.108
	Οχήματα	1.000	95%	0.011
PM_{2.5} ,άφιξη	Επιβάτες	0.862	95%	0.339
	Οχήματα	0.928	95%	0.242
PM_{2.5} ,αναχώρηση	Επιβάτες	0.995	95%	0.065
	Οχήματα	0.997	95%	0.052

6 Συζήτηση

Στην ενότητα αυτή γίνεται αναφορά στα προβλήματα και στις δυσκολίες που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της μελέτης καθώς και προτάσεις για περαιτέρω αξιοποίηση των μετρήσεων.

Αρχικά, η περίοδος που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, δύο από τις τρεις εποχές υπήρχε εφαρμογή εθνικών περιοριστικών μέτρων για την αντιμετώπιση της πανδημίας της νόσου του κορονοϊού 2019(COVID-19), επομένως η μετακίνηση από και προς το λιμένα γινόταν με ειδική άδεια μετακίνησης, με την μερική άρση των μέτρων το Καλοκαίρι οι επιβάτες ήταν υποχρεωμένοι να διαθέτουν είτε αρνητικό αυτοδιαγνωστικό τεστ είτε πιστοποιητικό εμβολιασμού. Δεύτερον, τα δρομολόγια των πλοίων που εξυπηρετούσαν τη γραμμή Πειραιάς – Χανιά και το αντίθετο είχαν αρκετά μειωμένη κίνηση σε σχέση με τους ίδιους μήνες πριν την εποχή της πανδημίας άρα τα δεδομένα που συλλέχθηκαν τον Χειμώνα και την Άνοιξη δεν αντιπροσωπεύουν πλήρως τις συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων σε κανονικές συνθήκες. Τρίτο, η αβεβαιότητα των μετρήσεων στο πεδίο. Υπήρξαν κάποιες ημέρες μετρήσεων όπου υπήρχε πολύ υψηλή συγκέντρωση Αφρικάνικης σκόνης στην ατμόσφαιρα της περιοχής, εξαιτίας ισχυρών Νότιων ανέμων, το οποίο επηρέασε αρνητικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Τέλος, τα απαγορευτικά απόπλου λόγω κακοκαιρίας και οι απεργίες λιμενεργατών στη διάρκεια του Χειμώνα τα οποία άλλαξαν το χρονοδιάγραμμα των μετρήσεων της εποχής.

Όσον αφορά τις μετρήσεις των αέριων ρύπων CO,CO₂,NO,NO₂ η σταθερή συγκέντρωση τους κίνησε υποψίες ότι υπάρχει κάποιο πρόβλημα με το όργανο μέτρησης MX6 iBRID. Διαπιστώθηκε ότι το όργανο αυτό είναι κατάλληλο για εσωτερικούς και βιομηχανικούς χώρους και εγκαταστάσεις επομένως σε εξωτερικό χώρο με τόσο αραιωμένο δείγμα αέρα δεν γίνεται σωστή καταγραφή αέριων ρύπων. Άρα οι μετρήσεις κρίθηκαν ακατάλληλες για τη μελέτη και απορρίφθηκαν για περαιτέρω επεξεργασία.

Μερικές προτάσεις για περαιτέρω αξιοποίηση των αποτελεσμάτων θα ήταν η χρήση των δεδομένων για πρόβλεψη σε μεταγενέστερα έτη, όπως για παράδειγμα με τη χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων, και επανάληψη των μετρήσεων στο επόμενο έτος(2022) ώστε να γίνει σύγκριση με τις μετρήσεις στην εποχή της πανδημίας.

7 Συμπεράσματα

Στην έβδομη ενότητα γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν στην πέμπτη ενότητα και εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχει η φόρτωση και εκφόρτωση των πλοίων στο λιμένα. Επίσης προτείνονται λύσεις για το μέλλον καθώς και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

7.1 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Αρχικά, τα αποτελέσματα των κλιματικών δεδομένων της περιοχής του λιμένα στους πίνακες 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 και 5.6 δεν παρουσιάζουν κάποια ασυνήθιστη μεταβολή σε σχέση με προηγούμενα έτη και η διακύμανση των τιμών της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας και της ταχύτητας ανέμου είναι φυσιολογικές για την εποχή τους.

Στη συνέχεια, όσον αφορά τα επίπεδα θορύβου εντός του λιμένα όπως παρατηρείται στους πίνακες 5.17 και 5.18, στις χειμερινές μετρήσεις οι τιμές κυμαίνονται εντός των νομοθετημένων ορίων για τα $L_{eq,1h}$ και L_{10} . Στις μετρήσεις της Άνοιξης, δεδομένου ότι τη περίοδο των μετρήσεων πραγματοποιούνταν εργασίες στον Ναύσταθμο Κρήτης, οι τιμές των $L_{eq,1h}$ υπερβαίνουν το όριο κατά 0.4dB. Πιο μεγάλη ανησυχία εκφέρει η τιμή του δείκτη L_{10} κατά τη διάρκεια των αφίξεων που είναι ίσος με 72.8dB όταν το όριο είναι στα 70dB. Αντίστοιχα στις θερινές μετρήσεις ιδιαίτερα στις αναχωρήσεις η ισοδύναμη στάθμη ήχου βρίσκεται ακριβώς στην οριακή τιμή ενώ ο δείκτης L_{10} υπερβαίνει το όριο κατά 0.3dB.

Έπειτα, τα αιωρούμενα σωματίδια αποτέλεσαν τον κύριο ρύπο για την αξιολόγηση της ποιότητας του αέρα. Στα Διαγράμματα 5.7 και 5.8 από την διακύμανση των μέσων τιμών των PM_{10} και $PM_{2.5}$ παρατηρούνται μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σωματιδίων κατά την άφιξη του πλοίου στο λιμένα σε σύγκριση με την αναχώρηση, το οποίο οφείλεται στο ότι υπάρχει πολύ μεγάλο κυκλοφοριακό φορτίο σε μικρό διάστημα. Όσον αφορά την εποχιακή διακύμανση, η μέση συγκέντρωση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες είναι μεγαλύτερη ($PM_{10,K}=32, 28$) από τις άλλες δύο εποχές ($PM_{10,A}=31, 14$, $PM_{10,X}=23, 20$), που οφείλεται στον τουρισμό που δέχεται η πόλη των Χανίων καθώς και στην μερική άρση των περιοριστικών μέτρων για την αντιμετώπιση του COVID-19. Παρόλα αυτά, καμία μέση τιμή δεν υπερέβηκε την οριακή τιμή των 50 $\mu g/m^3$.

Για την εξέταση της διασποράς και της ασυμμετρίας των μετρήσεων κατασκευάστηκαν θηκογράμματα(box-plots). Στο διάγραμμα 5.11, στις μετρήσεις της Άνοιξης παρατηρείται στο [Πίνακα 5.13] ένα μεγάλο εύρος τιμών και το ενδοτεταρτημοριακό εύρος είναι ίσο με $IQR=35$ που υποδηλώνει μεγάλη διασπορά στις μετρήσεις το οποίο οφείλεται στο επεισόδιο μεταφοράς σκόνης. Στη διάρκεια των αφίξεων και αναχωρήσεων η μεγαλύτερη διάμεση τιμή παρατηρείται και στις δύο περιπτώσεις κατά τους θερινούς μήνες με $(PM_{10,AΦΙΞΗ})_{Median} = 25$ και $(PM_{10,ΑΝΑΧΩΡΗΣΗ})_{Median} = 28$, το οποίο είναι αναμενόμενο λόγω του τουρισμού. Το πρόβλημα του επεισοδίου μεταφοράς σκόνης διακρίνεται καλύτερα στο διάγραμμα 5.15, όπου η διάμεσος είναι ίση με 38 $\mu g/m^3$ και το ενδοτεταρτημοριακό εύρος είναι ίσο με 64. Τις υπόλοιπες ημέρες μετρήσεων (Διαγράμματα 5.16,5.17,5.18) μεγαλύτερες συγκεντρώσεις PM_{10} παρατηρήθηκαν το Καλοκαίρι, εκτός τις ενδιάμεσες ημέρες μετρήσεων (Τετάρτη-Αναχώρηση) του Χειμώνα όπου υπήρχε μια μη αναμενόμενη διάμεση τιμή συγκέντρωσης PM_{10} . Επίσης η υψηλότερη μέση και διάμεση τιμή της συγκέντρωσης PM_{10} καταγράφηκε στις αφίξεις στις ενδιάμεσες ημέρες του Καλοκαιριού ίση με 41 $\mu g/m^3$, το οποίο πλησιάζει αρκετά στο νομοθετημένο όριο.

Τέλος, η επιβατική κίνηση του λιμένα παρουσιάζεται στον [Πίνακα 5.19], η οποία είναι αρκετά αυξημένη στις ημέρες του Καλοκαιριού. Συνολικά μετακινήθηκαν 1085 επιβάτες και 790 οχήματα το Καλοκαίρι, την Άνοιξη 188 επιβάτες και 294 οχήματα και το Χειμώνα 380

επιβάτες και 381 οχήματα. Η αρκετά μειωμένη κίνηση τη περίοδο της Άνοιξης και του Χειμώνα οφείλεται κυρίως στα περιοριστικά μέτρα που υπήρχαν στην Ελλάδα. Προκειμένου να γίνει μια συσχέτιση μεταξύ της κίνησης και των αιωρούμενων σωματιδίων κατασκευάστηκαν τα συνδυαστικά διαγράμματα [5.25], [5.26] και υπολογίστηκε στον [Πίνακα 5.20] ο συντελεστής συσχέτισης των PM_{10} και $PM_{2.5}$ σε σχέση με τους επιβάτες και τα οχήματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει ισχυρή γραμμική συσχέτιση μεταξύ των αριθμών των επιβατών/οχημάτων και των συγκεντρώσεων PM_{10} και $PM_{2.5}$ όμως στατιστικά δεν είναι σημαντική.

Με βάση τη παραπάνω ανάλυση των αποτελεσμάτων εξάγονται τα συμπεράσματα από την μελέτη του λιμένα της Σούδας για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχει η φόρτωση και εκφόρτωση των πλοίων. Τα κλιματικά στοιχεία της περιοχής ήταν φυσιολογικά για την εποχή τους. Αναφορικά με τον θόρυβο, τα επίπεδα ήταν υψηλά και σε δύο εποχές υπερέβησαν το νομοθετημένο όριο επομένως υπάρχει όχληση στη γύρω περιοχή ειδικά κατά τις νυκτερινές ώρες που αναχωρεί το πλοίο. Όσο για τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, η μέση τιμή των συγκεντρώσεων PM_{10} και $PM_{2.5}$ κατά τη διάρκεια των τριών εποχών ήταν εντός των νομοθετημένων ορίων που ορίζει η Οδηγία 2008/50/EK. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στη θερινή περίοδο που η επισκεψιμότητα του λιμένα ανεβαίνει σημαντικά σε σχέση με τις άλλες περιόδους αφού καταγράφηκε η μεγαλύτερη μέση τιμή PM_{10} ίση με $41 \mu g/m^3$. Η στατιστική ανάλυση μεταξύ οχημάτων, επιβατών και συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων έδειξε ισχυρή γραμμική συσχέτιση των παραμέτρων, αφού πέρα από τις εκπομπές ρύπων από το πλοίο τα οχήματα, που η πλειοψηφία τους κινείται με ορυκτά καύσιμα, εκπέμπουν και αυτά αέριους και σωματιδιακούς ρύπους ειδικά τα φορτηγά που χρησιμοποιούν πετρέλαιο.

7.2 Προτάσεις για το μέλλον και προτεινόμενες λύσεις

Οι λύσεις που προτείνονται ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα του αέρα της περιοχής:

- Εγκατάσταση εντός του λιμένα από τις αρχές σταθμού μέτρησης ποιότητας της ατμόσφαιρας και των κλιματικών δεδομένων, ο οποίος θα καταγράφει τους νομοθετημένους αέριους ρύπους (PM , SO_2 , O_3 , NO_2 , CO , Pb , As , Cd , Ni , βενζόλιο, βενζο(α)πυρένιο) και θα παρακολουθεί τα όρια και τους στόχους τους.
- Χερσαία τροφοδοσία ρεύματος στα πλοία (cold-ironing), ώστε να μη λειτουργούν οι βοηθητικές μηχανές των πλοίων όταν είναι δεμένα στο λιμένα.
- Χρήση πιο καθαρών καυσίμων για την κίνηση των πλοίων όπως για παράδειγμα υδροποιημένο φυσικό αέριο (LNG).
- Εγκατάσταση πλυντρίδων καυσαερίων (Wet scrubbers) σε όλα τα πλοία για τη μείωση των εκπομπών αέριων και σωματιδιακών ρύπων.
- Μετακίνηση με οχήματα νέων προδιαγραφών (EURO 6d), με υβριδική τεχνολογία (ηλεκτροκινητήρας για μετακίνηση σε χαμηλές ταχύτητες) και αμιγώς ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Τα υβριδικά και αμιγώς ηλεκτρικά αυτοκίνητα επίσης συνεισφέρουν στη μείωση της ηχορύπανσης.

Μερικές προτάσεις για μελλοντική έρευνα σε σχέση με τη τωρινή μελέτη είναι:

- Η επαναξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε κανονικές συνθήκες(χωρίς περιοριστικά μέτρα μετακινήσεων).
- Μέτρηση και αξιολόγηση αέριων ρύπων(NO , NO_2 , CO , CO_2 κ.α.)
- Κατασκευή χάρτη θορύβου, όπου γίνεται από μετρήσεις σε διάφορα σημεία η γραφική αναπαράσταση της κατανομής του επιπέδου του ήχου και της διάδοσης των ηχητικών κυμάτων στη περιοχή για μία καθορισμένη περίοδο, ώστε να βρεθεί τρόπος μείωσης της ηχορύπανσης στο λιμένα.

8 Βιβλιογραφία

- Argyriou Ioannis, Sifakis Nikolaos, Theocharis Tsoutsos, 2021, Ranking measures to improve the sustainability of Mediterranean ports based on multicriteria decision analysis: a case study of Souda port, Chania, Crete. *Environment, Development and Sustainability*, <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01711-7>
- A. Monteiro, M. Russo, C. Gama, C. Borrego, 2018, How important are maritime emissions for the air quality: At European and national scale, *Environmental Pollution*, Volume 242, Part A, Pages 565-575, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.011>
- Barbara J. Finlayson-Pitts, James N. Pitts, 2000, CHAPTER 9 - Particles in the Troposphere, Editor(s): Barbara J. Finlayson-Pitts, James N. Pitts, *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere*, Academic Press, Pages 349-435, ISBN 9780122570605, <https://doi.org/10.1016/B978-012257060-5/50011-3>
- Bermúdez, F.M., Laxe, F.G. & Aguayo-Lorenzo, 2020, E. Port sustainability in Spain: the case of noise, *Environment Development and Sustainability* 22, 8061–8078, <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00560-9>
- Chania.gr. (n.d.) Retrieved from <https://www.chania.gr/archive/souda/www.souda.gr/our-space/histoty/history-of-souda.html>
- E. Merico, A. Donato, A. Gambaro, D. Cesari, E. Gregoris, E. Barbaro, A. Dinoi, G. Giovanelli, S. Masieri, D. Contini, 2016, Influence of in-port ships emissions to gaseous atmospheric pollutants and to particulate matter of different sizes in a Mediterranean harbour in Italy, *Atmospheric Environment*, Volume 139, Pages 1-10, ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.05.024>
- Eco Ports, ESPO Green Guide 2021, ecoports.com(n.d.) Retrieved from <https://www.ecoports.com/publications/espo-green-guide-2021-a-manual-for-european-ports-towards-a-green-future>
- Ernestos Tzannatos, 2010, Ship emissions and their externalities for the port of Piraeus – Greece, *Atmospheric Environment*, Volume 44, Issue 3, Pages 400-407, ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.10.024>
- Enda Murphy, Eoin A. King, 2014, An assessment of residential exposure to environmental noise at a shipping port, *Environment International*, Volume 63, Pages 207-215, ISSN 0160-4120, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.11.001>
- F. Murena, M.V. Prati, F. Quaranta, 2018, Assessment of the impact of ship emissions on the air quality in Naples, *Developments in Maritime Transportation and Harvesting of Sea Resources (2-Volume Set): Proceedings of the 17th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean (IMAM 2017), October 9-11, 2017, Lisbon, Portugal*, Volume 2, Pages 1037 - 1041, <http://hdl.handle.net/11588/688005>
- F. Murena, L. Mocerino, F. Quaranta, D. Toscano, 2018, Impact on air quality of cruise ship emissions in Naples, Italy, *Atmospheric Environment*, Volume 187, Pages 70-83, ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.05.056>
- Google Maps, (n.d.) Retrieved at June 28, 2021, from <https://www.google.com/maps>

Gian Paolo Gobbi, Luca Di Liberto, Francesca Barnaba, 2020, Impact of port emissions on EU-regulated and non-regulated air quality indicators: The case of Civitavecchia (Italy), *Science of The Total Environment*, Volume 719, 134984, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134984>

Halil Saraçoğlu, Cengiz Deniz, Alper Kılıç, 2013, An Investigation on the Effects of Ship Sourced Emissions in Izmir Port, Turkey, *The Scientific World Journal*, vol. 2013, Article ID 218324, 8 pages, <https://doi.org/10.1155/2013/218324>

International Maritime Organization, imo.org(n.d.-a) Retrieved May 22, 2021, from <https://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx>

International Maritime Organization, imo.org(29 September 2021) Retrieved October 4, 2021, from <https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/StatusOfConventions.aspx>

International Maritime Organization, MARPOL, imo.org(n.d.-b) Retrieved from [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)

International Maritime Organization, Revised MARPOL Annex VI, imo.org(n.d.-c) Retrieved from <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Air-Pollution.aspx>

International Maritime Organization, Regulation 14(SO_x,PM), imo.org(n.d.-d) Retrieved from [https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx)

International Maritime Organization, Regulation 13(NO_x), imo.org(n.d.-e) Retrieved from [https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx)

International Maritime Organization, GHGs, imo.org(n.d.-f) Retrieved from <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/GHG-Emissions.aspx>

indsci.com, (n.d.) Retrieved from https://www.indsci.com/globalassets/documents/mx6-ibrid/mx6-ibrid-product-manual/17130279-1_en.pdf

Jordi Perdiguer, Alex Sanz, 2020, Cruise activity and pollution: The case of Barcelona, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 78, 102181, ISSN 1361-9209, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.11.010>

K.M. Fameli, A.M. Kotrikla, C. Psanis, G. Biskos, A. Polydoropoulou, 2020, Estimation of the emissions by transport in two port cities of the northeastern Mediterranean, Greece, *Environmental Pollution*, Volume 257, 113598, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113598>

kestrelmeters.com, (n.d.) Retrieved from <https://kestrelmeters.com/products/kestrel-4500-weather-meter>

Kriti24.gr. (n.d.) Retrieved from https://www.kriti24.gr/wp-content/uploads/2019/08/limani_souda.jpg.

Ltnx.gr, (n.d.) Retrieved from http://www.ltnx.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=71&lang=el

mastech-group.com, (n.d.) Retrieved from <http://www.mastech-group.com/products.php?cate=119&PNo=109>

Mills.gr, (n.d.) Retrieved from <https://www.mills.gr/wp-content/uploads/2018/11/Myloisimera-1100x600.jpg>

Nikolaos Sifakis, Theocharis Tsoutsos, 2021, Planning zero-emissions ports through the nearly zero energy port concept, Journal of Cleaner Production, Volume 286, 125448, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125448>

Soudaport.gr, (n.d.) Retrieved from https://soudaport.files.wordpress.com/2020/09/soudaport_map.jpg?w=809&h=564

Thompson, Mike (2017): Carbon monoxide - Molecule of the Month November 2005 [Archived version]. figshare. Journal contribution. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.5436793.v1>

tsi.com, (n.d.) Retrieved from <https://tsi.com/products/aerosol-and-dust-monitors/dust-monitors/dusttrak-drx-aerosol-monitor-8534/>

United States Environmental Protection Agency, Particulate Matter, epa.gov(n.d.) Retrieved from <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>

United States Environmental Protection Agency, Sulfur Dioxide, epa.gov(n.d.) Retrieved from <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics>

United States Environmental Protection Agency, Nitrogen Dioxide, epa.gov(n.d.) Retrieved from <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2>

Zhanmin Liu, Xiaohui Lu, Junlan Feng, Qianzhu Fan, Yan Zhang, Xin Yang, 2017, Influence of Ship Emissions on Urban Air Quality: A Comprehensive Study Using Highly Time-Resolved Online Measurements and Numerical Simulation in Shanghai, *Environmental Science & Technology*, 51 (1), 202-211, <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b03834>

Γεώργιος Μίντσης, Οδοποιία II. Θόρυβος, 2014, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών

Ελληνική Δημοκρατία, 2007, Υ.Α. Η.Π. 22306/1075/Ε103/2007, *ΦΕΚ920Β/8.6.07*

Ελληνική Δημοκρατία, 2011, Υ.Α. Η.Π. 14122/549/Ε.103, *ΦΕΚ488Β/30.3.11*

Ελληνική Δημοκρατία, 2017, Υ.Α. 174505/607/2017, *ΦΕΚ1311/Β/13.4.2017*

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 1999, Οδηγία 1999/32/ΕΚ, Συμβούλιο της 26^{ης} Απριλίου 1999, *ΕΕ L 121 της 11.5.1999, σ. 13 έως 18*

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2012, Οδηγία 2012/33/ΕΕ, Συμβούλιο της 21^{ης} Νοεμβρίου 2012, *ΕΕ L 327 της 27.11.2012, σ. 1 έως 13*

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2016, Οδηγία 2016/802/ΕΚ, Συμβούλιο της 11^{ης} Μαΐου 2016, *ΕΕ L 132 της 21.5.2016, σ. 58 έως 78*

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2004, Οδηγία 2004/107/ΕΚ, Συμβούλιο της 15^{ης} Δεκεμβρίου 2004, *ΕΕ L 23 της 26.1.2005, σ. 3 έως 16*

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2008, Οδηγία 2008/50/ΕΚ, Συμβούλιο της 21^{ης} Μαΐου 2008, *ΕΕ L 152 της 11.6.2008, σ. 1 έως 44*

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, Οδηγία 2015/1480/ΕΚ, Συμβούλιο της 28^{ης} Αυγούστου 2015, *ΕΕ L 226 της 29.8.2015*, σ. 4 έως 11

Μ. Δρακούλας, 2017, *Αποτίμηση επιπτώσεων στην ποιότητα αέρα από λιμενικές δραστηριότητες στην περιοχή του λιμένα Πειραιώς*, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Μηχανολόγων μηχανικών

Μ. Ι. Σπανδωνίδου, 2018, *Συγκριτική Μελέτη της Ποιότητας της Ατμόσφαιρας στις Πόλεις-Λιμάνια της Μεσογείου*, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Φυσικής

Ν. Πατέστος, 2016, *Υλοποίηση συστήματος γραφικής απεικόνισης της διασποράς αέριων ρύπων εξαιτίας των δραστηριοτήτων πλοίων*, Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Ν. Μοσχόπουλος, 2016, *Εκπομπές αέριων ρύπων σε λιμένες της Μεσογείου*, Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Ναυτοπρόσκοποι Σούδας, (n.d.) Retrieved from <https://4npsoudas.wixsite.com/index/copy-of-istorikes-fotografies>.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, [ypen.gov.gr](https://ypen.gov.gr/perivallon/poiotita-tis-atmosfairas/nomothesia/). (n.d.) Retrieved July 12, 2021, from <https://ypen.gov.gr/perivallon/poiotita-tis-atmosfairas/nomothesia/>

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, ypen.gov.gr. (n.d.), October 15, 2021, from <https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2021/06/%CE%95%CE%9A%CE%98%CE%95%CE%A3%CE%97-2020.pdf>

9 Παράρτημα

9.1 Δομή υπολογιστικών φύλλων Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	ΗΜΕΡΑ	5/4/2021	ΑΦΙΞΗ	ΥΨΗΛΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΣΚΟΝΗΣ					
2	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΠΛΟΙΟΥ	ΚΝΟΣΣΟΣ PALACE	Επιβάτες	40 Οχήματα	15				
3	ΩΡΑ/ΜΕΤΡΗΣΗ	Ταχύτητα Ανέμου(m/s)	Θερμοκρασία(°C)	Υγρασία(%)	NO2(ppm)	NO(ppm)	CO(ppm)	PID(ppm)	CO2(% vol)
4	8:26:20	0.4	23.9	41.7	0	0	0	0	0.03
5	8:26:50	0.5	23.7	41.1	0	0	0	0	0.03
6	8:27:20	0	24.1	41.5	0	0	0	0	0.03
7	8:27:50	0.8	23.6	41.8	0	0	0	0	0.03
8	8:28:20	0.5	23.9	44.3	0	0	0	0	0.03
9	8:28:50	0	24.7	42.3	0	0	0	0	0.03
10	8:29:20	0.5	24.3	40.7	0	0	0	0	0.03
11	8:29:50	0.7	23.7	41.5	0	0	0	0	0.03
12	8:30:20	1	23.1	42.8	0	0	0	0	0.03
13	8:30:50	1.1	22.7	46.8	0	0	0	0	0.03
14	8:31:20	0.8	22.9	48.1	0	0	0	0	0.03
15	8:31:50	0.7	22.8	48.4	0	0	0	0	0.03
16	8:32:20	0.8	23	47.5	0	0	0	0	0.03
17	8:32:50	0.6	23	46.1	0	0	0	0	0.03
18	8:33:20	0.6	23.3	47	0	0	0	0	0.03
19	8:33:50	0.5	24.3	46.1	0	0	0	0	0.03
20	8:34:20	0.3	24.8	44.1	0	0	0	0	0.03
21	8:34:50	1.2	23.7	43.7	0	0	0	0	0.03
22	8:35:20	0.9	24.5	44.2	0	0	0	0	0.03
23	8:35:50	0.9	24.1	41.7	0	0	0	0	0.03
24	8:36:20	0.9	23.7	42.8	0	0	0	0	0.03
25	8:36:50	0.7	24.4	44.9	0	0	0	0	0.03
26	8:37:20	0.9	24	43.7	0	0	0	0	0.03
27	8:37:50	0.7	23.5	46.8	0	0	0	0	0.03
28	8:38:20	1.2	23.6	46.8	0	0	0	0	0.03
29	8:38:50	1.2	22.9	48.2	0	0	0	0	0.03
30	8:39:20	0.6	23	43.7	0	0	0	0	0.03
31	8:39:50	0.9	22.9	48.2	0	0	0	0	0.03
32	8:40:20	0	24.7	47.9	0	0	0	0	0.03
33	8:40:50	0.8	25	46.9	0	0	0	0	0.03
34	8:41:20	1	23.4	46.2	0	0	0	0	0.03
35	8:41:50	0	24.7	49.9	0	0	0	0	0.03
36	8:42:20	0	25.6	47	0	0	0	0	0.03
37	8:42:50	0.6	25.3	44.8	0	0	0	0	0.03
38	8:43:20	0.7	25.2	44.1	0	0	0	0	0.03

Εικόνα 9.1: Δομή υπολογιστικού φύλλου Excel – Καταγραφή μετρήσεων κλιματικών δεδομένων και ρύπων

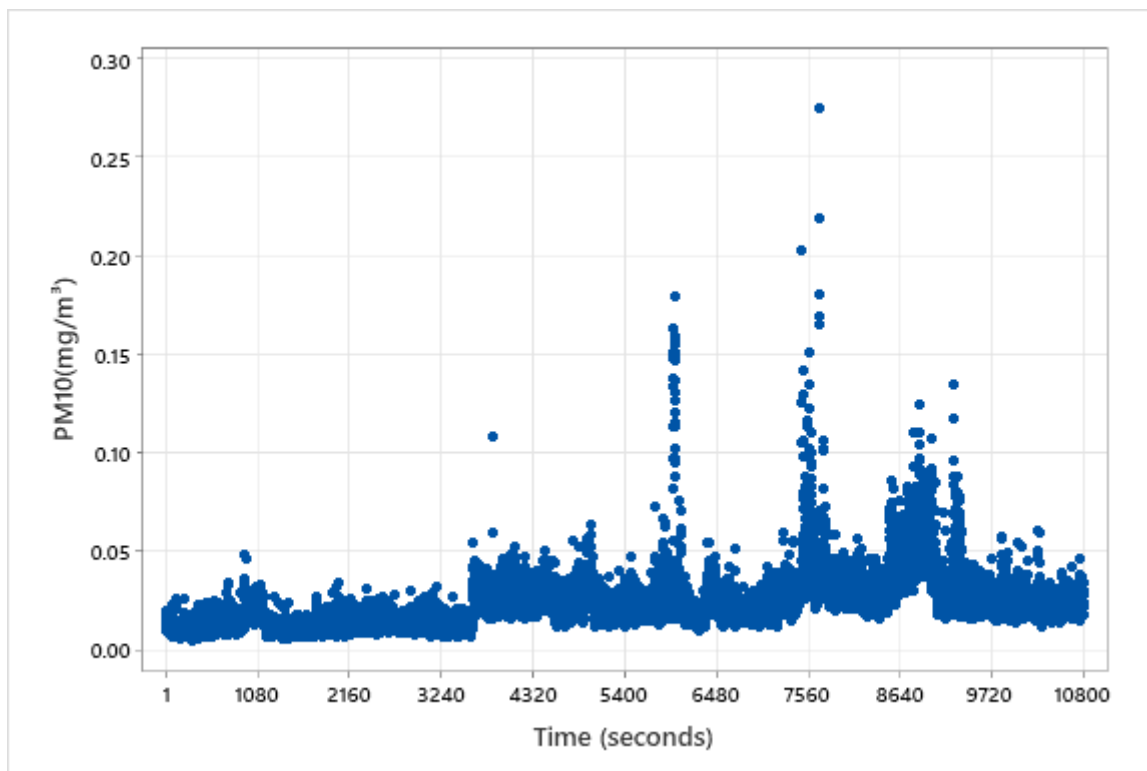
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Date	Time	PM1	PM2.5	RESP	PM10	TOTAL								
2	dd/MM/yyyy	hh:mm:ss	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³		Statistics	Channel:	PM1	PM2.5	RESP	PM10	TOTAL
3	05/04/2021	08:26:20	0.009	0.019	0.034	0.064	0.064			Units:	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
4	05/04/2021	08:26:21	0.007	0.018	0.032	0.067	0.067			Average:	0.010	0.020	0.036	0.078	0.106
5	05/04/2021	08:26:22	0.006	0.016	0.034	0.069	0.069			Minimum:	0.002	0.012	0.021	0.036	0.037
6	05/04/2021	08:26:23	0.01	0.018	0.033	0.063	0.066			Maximum:	0.091	0.106	0.128	0.235	0.523
7	05/04/2021	08:26:24	0.012	0.021	0.036	0.083	0.121								
8	05/04/2021	08:26:25	0.009	0.018	0.034	0.074	0.092								
9	05/04/2021	08:26:26	0.007	0.017	0.033	0.067	0.067								
10	05/04/2021	08:26:27	0.004	0.014	0.03	0.055	0.055								
11	05/04/2021	08:26:28	0.005	0.016	0.031	0.043	0.043								
12	05/04/2021	08:26:29	0.008	0.018	0.035	0.061	0.065								
13	05/04/2021	08:26:30	0.011	0.02	0.038	0.085	0.132								
14	05/04/2021	08:26:31	0.008	0.017	0.033	0.09	0.112								
15	05/04/2021	08:26:32	0.009	0.018	0.032	0.072	0.072								
16	05/04/2021	08:26:33	0.01	0.02	0.038	0.089	0.089								
17	05/04/2021	08:26:34	0.007	0.018	0.038	0.088	0.089								
18	05/04/2021	08:26:35	0.007	0.018	0.033	0.06	0.075								
19	05/04/2021	08:26:36	0.007	0.017	0.033	0.069	0.077								
20	05/04/2021	08:26:37	0.007	0.016	0.03	0.066	0.066								
21	05/04/2021	08:26:38	0.008	0.017	0.03	0.062	0.064								
22	05/04/2021	08:26:39	0.01	0.019	0.035	0.072	0.101								
23	05/04/2021	08:26:40	0.012	0.021	0.038	0.073	0.106								
24	05/04/2021	08:26:41	0.01	0.019	0.036	0.074	0.083								
25	05/04/2021	08:26:42	0.009	0.018	0.034	0.074	0.075								
26	05/04/2021	08:26:43	0.009	0.019	0.032	0.072	0.095								
27	05/04/2021	08:26:44	0.009	0.021	0.035	0.085	0.13								
28	05/04/2021	08:26:45	0.009	0.019	0.035	0.076	0.113								
29	05/04/2021	08:26:46	0.009	0.018	0.03	0.066	0.076								
30	05/04/2021	08:26:47	0.009	0.018	0.031	0.067	0.067								
31	05/04/2021	08:26:48	0.009	0.018	0.031	0.071	0.071								
32	05/04/2021	08:26:49	0.009	0.019	0.034	0.07	0.07								
33	05/04/2021	08:26:50	0.009	0.019	0.037	0.067	0.067								
34	05/04/2021	08:26:51	0.009	0.019	0.039	0.07	0.071								
35	05/04/2021	08:26:52	0.009	0.018	0.039	0.06	0.084								
36	05/04/2021	08:26:53	0.008	0.016	0.032	0.052	0.08								
37	05/04/2021	08:26:54	0.011	0.017	0.032	0.065	0.075								
38	05/04/2021	08:26:55	0.01	0.018	0.035	0.079	0.095								
<div> <div>◀ ▶</div> <div>Κλιματικά&Ρύποι</div> <div>Σωματίδια</div> <div>Θόρυβος</div> <div>+</div> </div>															

Εικόνα 9.2:Δομή υπολογιστικού φύλλου Excel - Καταγραφή μετρήσεων αιωρούμενων σωματιδίων

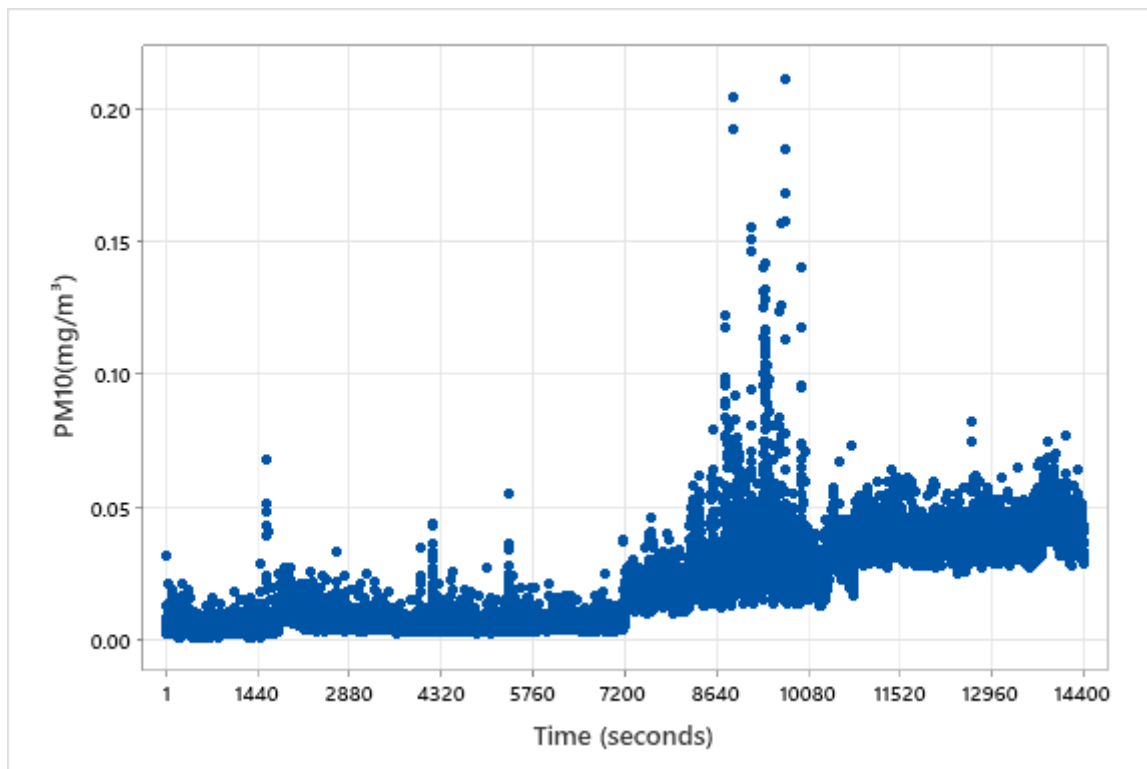
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Column1	Column2	Column3	Column4	Column5		n=3019	
2	Sound Level Meter Data Report (04/05/2021/12:33:35/3019)							
3								
4	Record	Date	Time	Range	Value (dB)		Max.	80.5
5	1	00-01-01	00:00:08	40-90	57.8		Min.	55.2
6	2	00-01-01	00:00:09	40-90	57		Average	60.2
7	3	00-01-01	00:00:10	40-90	57.1			
8	4	00-01-01	00:00:11	40-90	56.8			
9	5	00-01-01	00:00:12	40-90	57.5			
10	6	00-01-01	00:00:13	40-90	58			
11	7	00-01-01	00:00:14	40-90	58			
12	8	00-01-01	00:00:15	40-90	57.7			
13	9	00-01-01	00:00:16	40-90	57.9			
14	10	00-01-01	00:00:17	40-90	58			
15	11	00-01-01	00:00:18	40-90	57.6			
16	12	00-01-01	00:00:19	40-90	57.8			
17	13	00-01-01	00:00:20	40-90	58.2			
18	14	00-01-01	00:00:21	40-90	58			
19	15	00-01-01	00:00:22	40-90	57.9			
20	16	00-01-01	00:00:23	40-90	58.4			
21	17	00-01-01	00:00:24	40-90	57.8			
22	18	00-01-01	00:00:25	40-90	57.8			
23	19	00-01-01	00:00:26	40-90	57.5			
24	20	00-01-01	00:00:27	40-90	58			
25	21	00-01-01	00:00:28	40-90	57.9			
26	22	00-01-01	00:00:29	40-90	57.9			
27	23	00-01-01	00:00:30	40-90	57.5			
28	24	00-01-01	00:00:31	40-90	57.9			
29	25	00-01-01	00:00:32	40-90	57.5			
30	26	00-01-01	00:00:33	40-90	57.4			
31	27	00-01-01	00:00:34	40-90	57.7			
32	28	00-01-01	00:00:35	40-90	57.6			
33	29	00-01-01	00:00:36	40-90	57.7			
34	30	00-01-01	00:00:37	40-90	57.8			
35	31	00-01-01	00:00:38	40-90	57.7			
36	32	00-01-01	00:00:39	40-90	57.5			
37	33	00-01-01	00:00:40	40-90	57.1			
38	34	00-01-01	00:00:41	40-90	57.2			

Εικόνα 9.3: Δομή υπολογιστικού φύλλου Excel – Καταγραφή μετρήσεων θορύβου

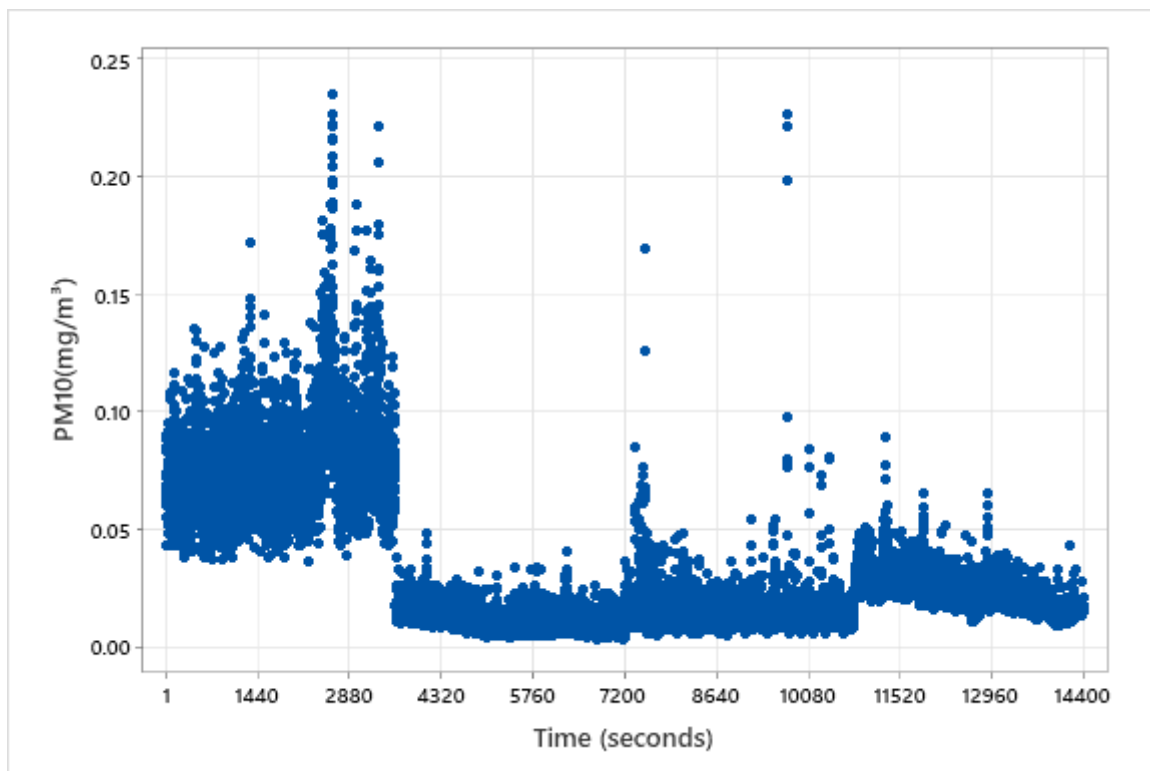
9.2 Χρονοσειρές μετρήσεων PM_{10} και $PM_{2.5}$



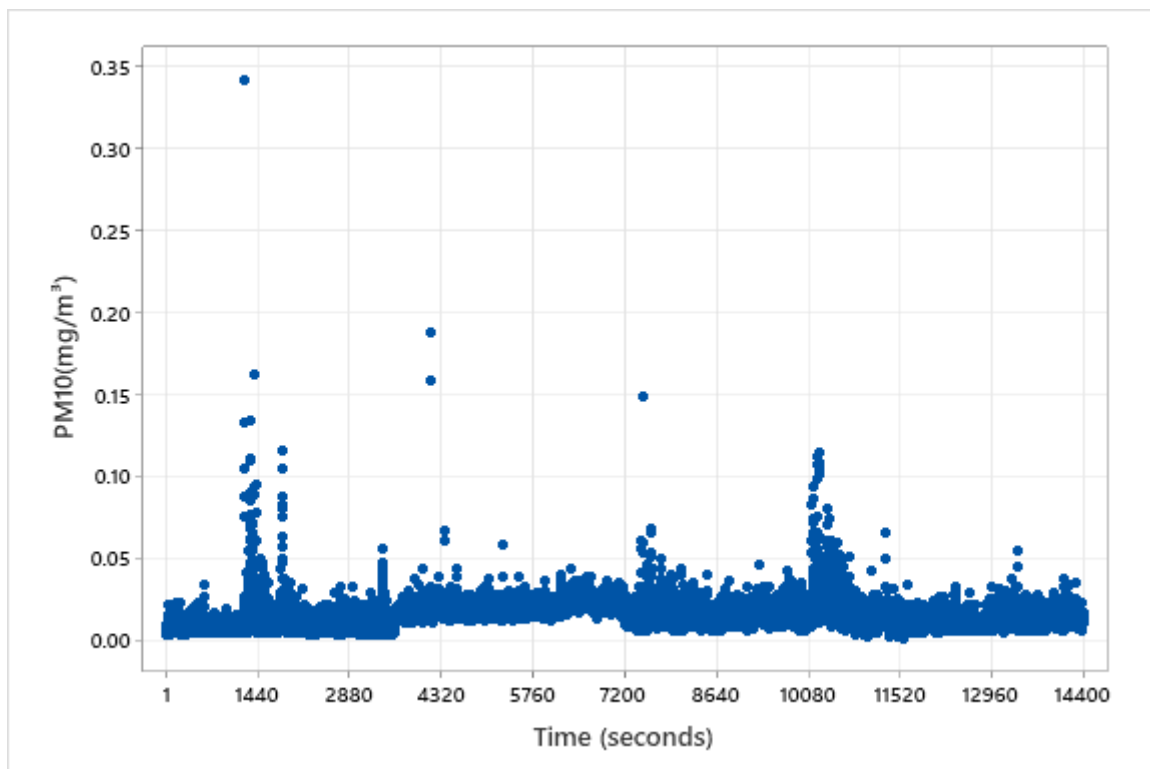
Διάγραμμα 9.1: Χρονοσειρά μετρήσεων PM_{10} χειμώνα κατά την άφιξη του πλοίου



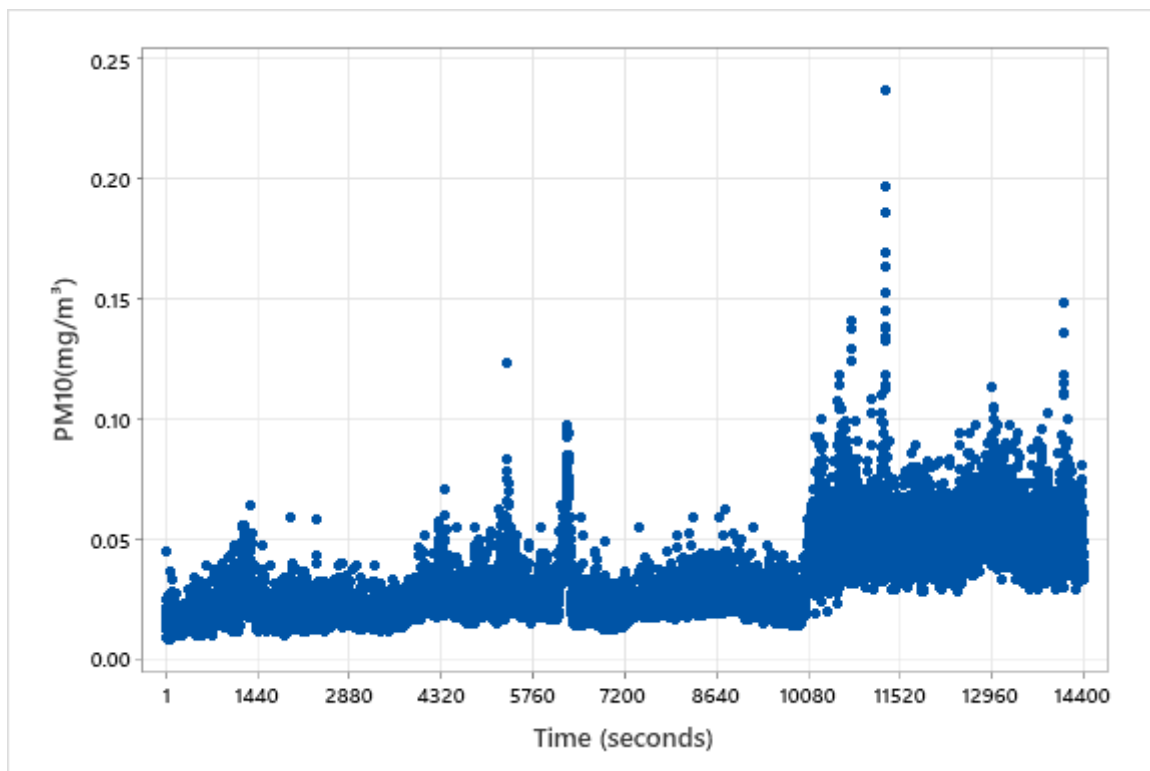
Διάγραμμα 9.2: Χρονοσειρά μετρήσεων PM_{10} χειμώνα κατά την αναχώρηση του πλοίου



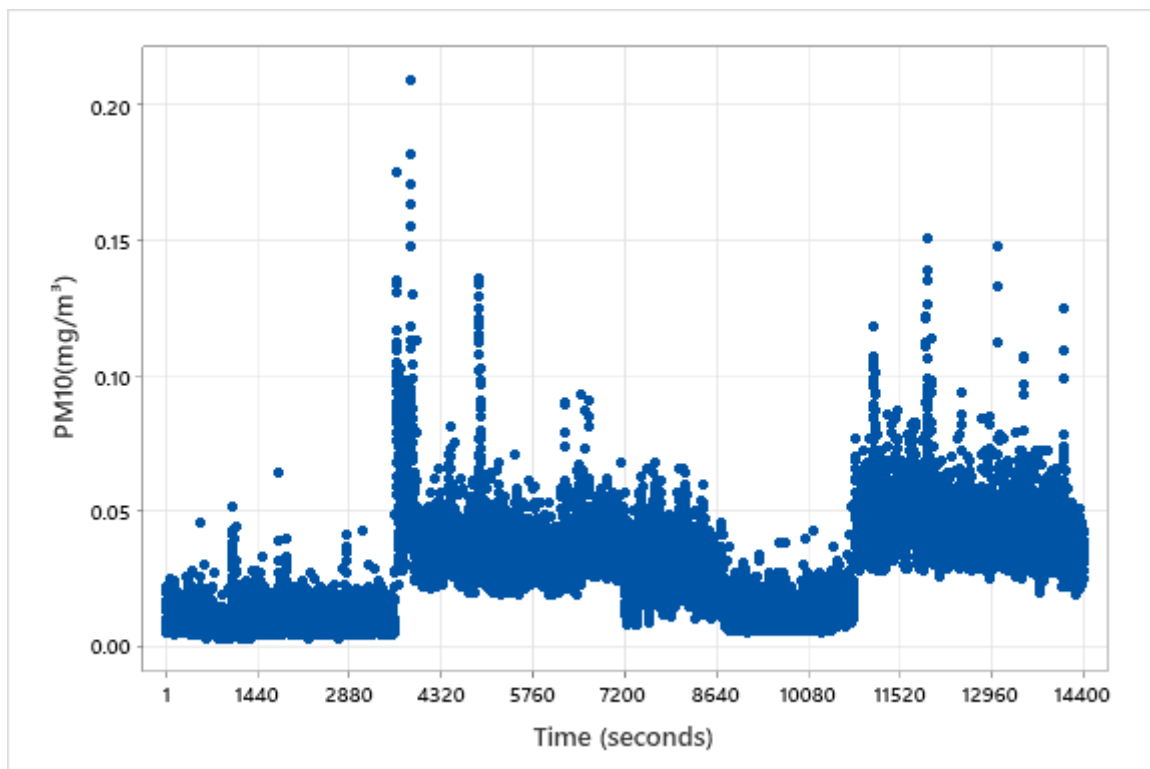
Διάγραμμα 9.3:Χρονοσειρά μετρήσεων PM_{10} άνοιξης κατά την άφιξη του πλοίου



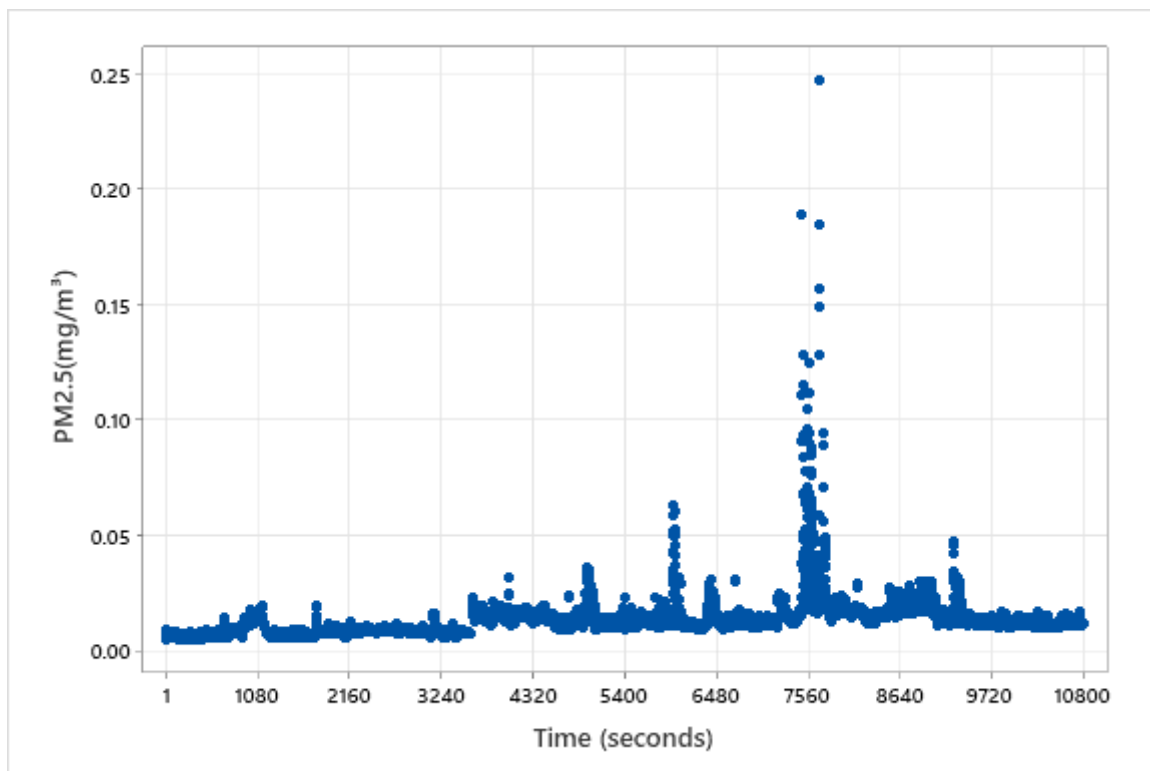
Διάγραμμα 9.4:Χρονοσειρά μετρήσεων PM_{10} άνοιξης κατά την αναχώρηση του πλοίου



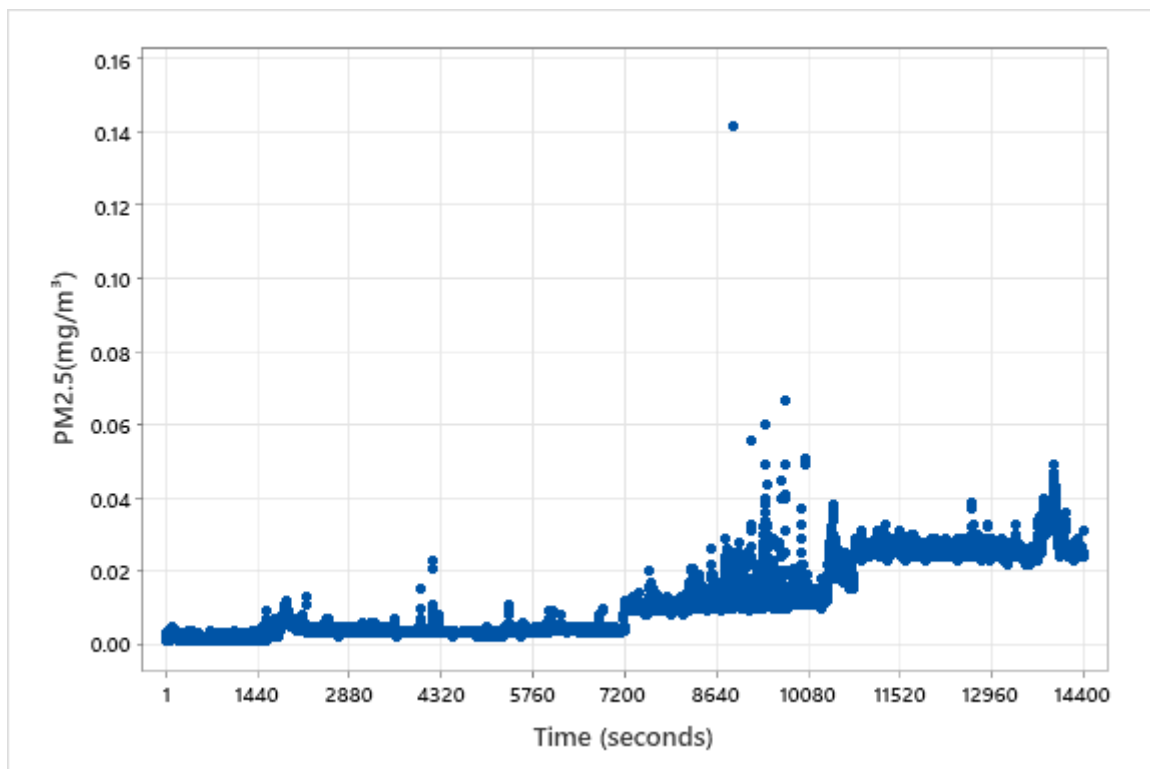
Διάγραμμα 9.5:Χρονοσειρά μετρήσεων PM_{10} καλοκαιριού κατά την άφιξη του πλοίου



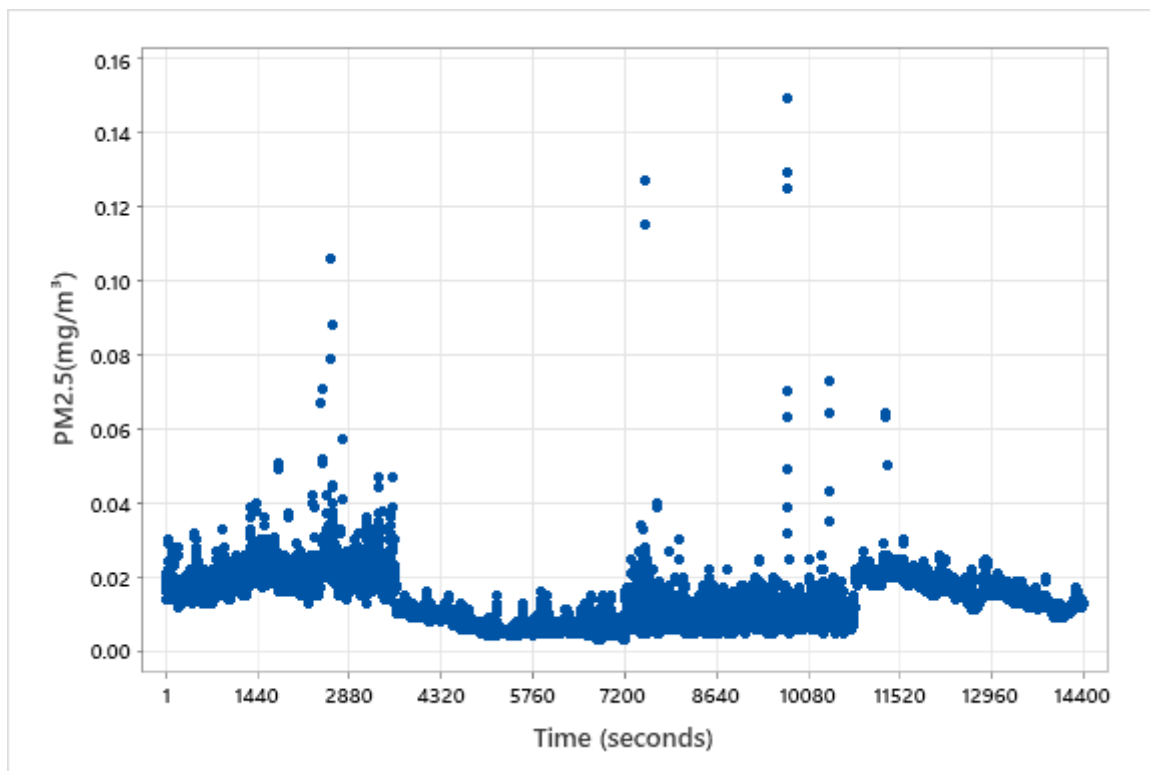
Διάγραμμα 9.6:Χρονοσειρά μετρήσεων PM_{10} καλοκαιριού κατά την αναχώρηση του πλοίου



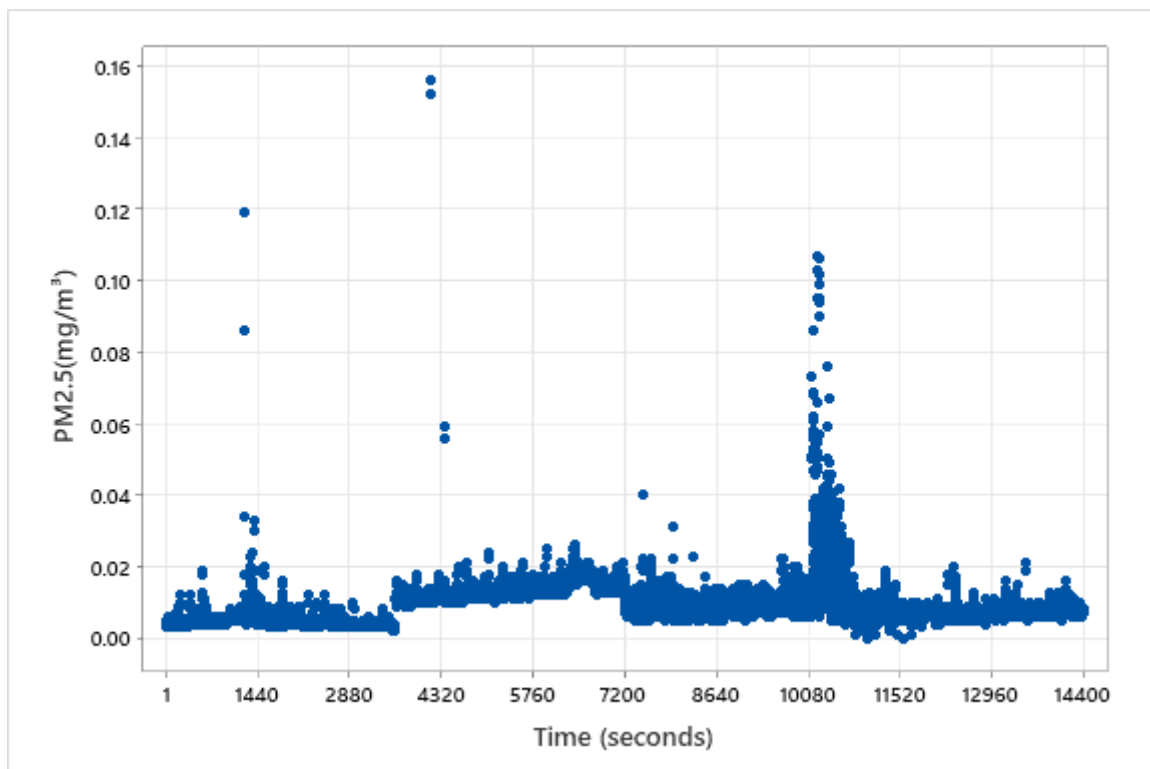
Διάγραμμα 9.7:Χρονοσειρά μετρήσεων $PM_{2.5}$ χειμώνα κατά την άφιξη του πλοίου



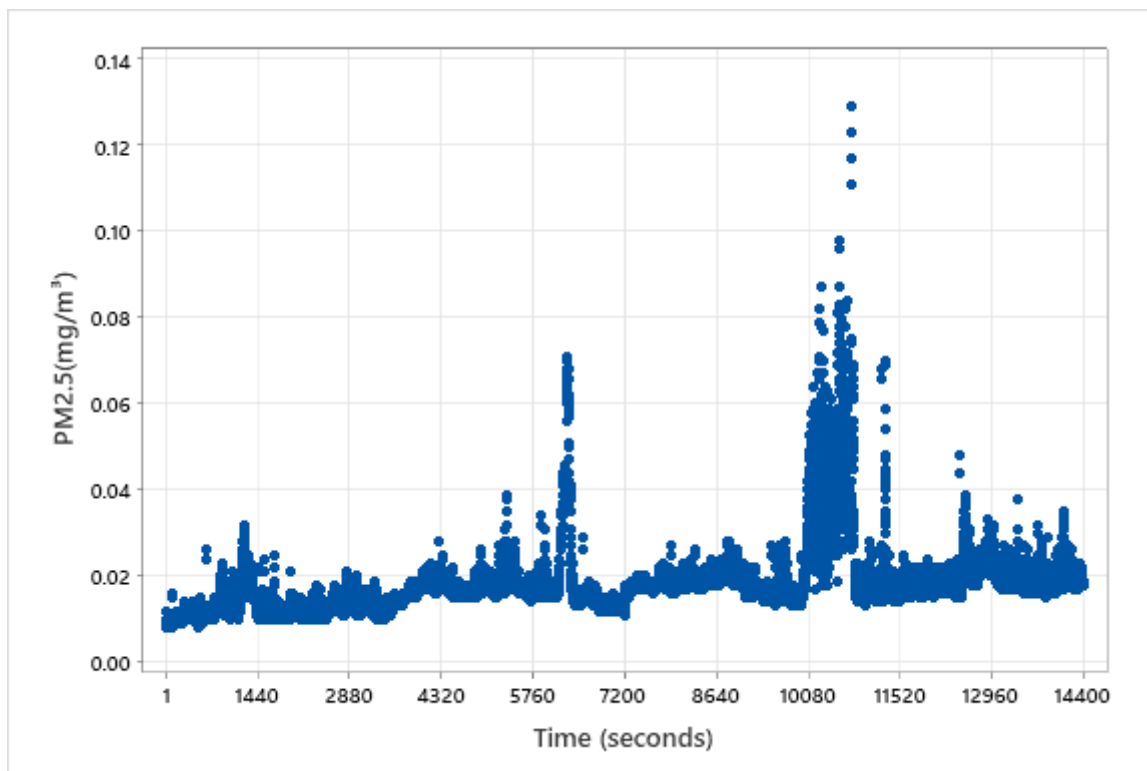
Διάγραμμα 9.8:Χρονοσειρά μετρήσεων $PM_{2.5}$ χειμώνα κατά την αναχώρηση του πλοίου



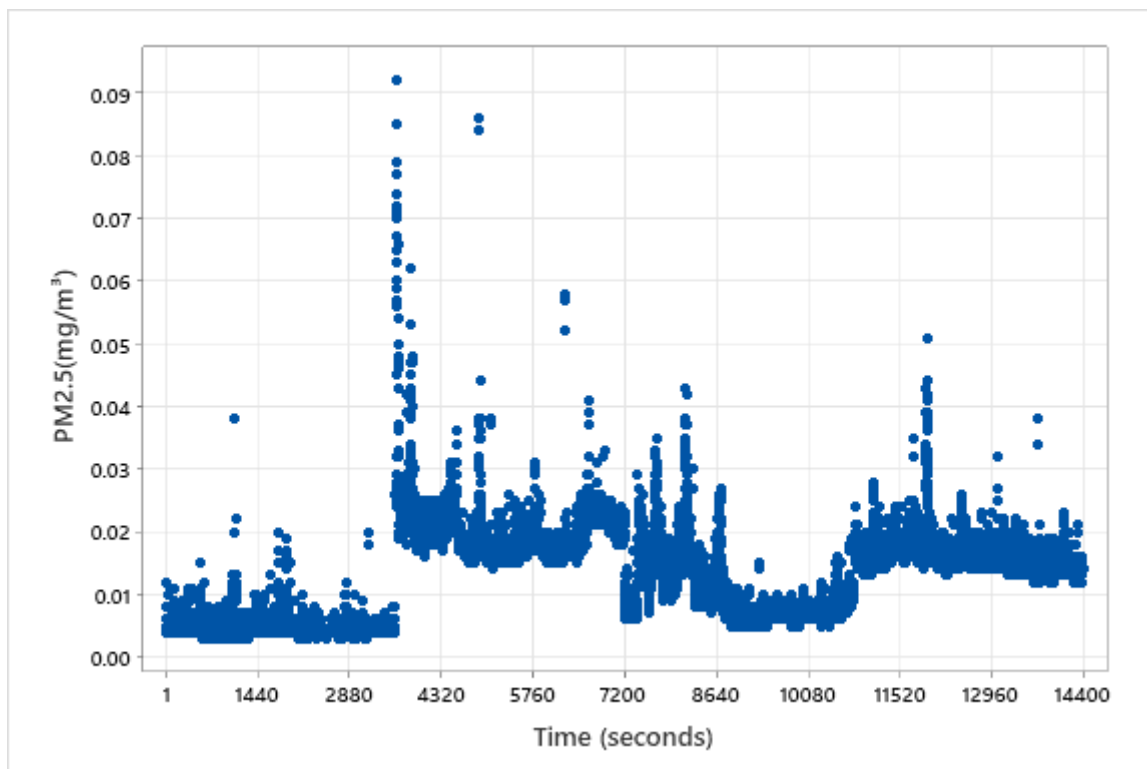
Διάγραμμα 9.9:Χρονοσειρά μετρήσεων PM_{2.5} άνοιξης κατά την άφιξη του πλοίου



Διάγραμμα 9.10:Χρονοσειρά μετρήσεων PM_{2.5} άνοιξης κατά την αναχώρηση του πλοίου

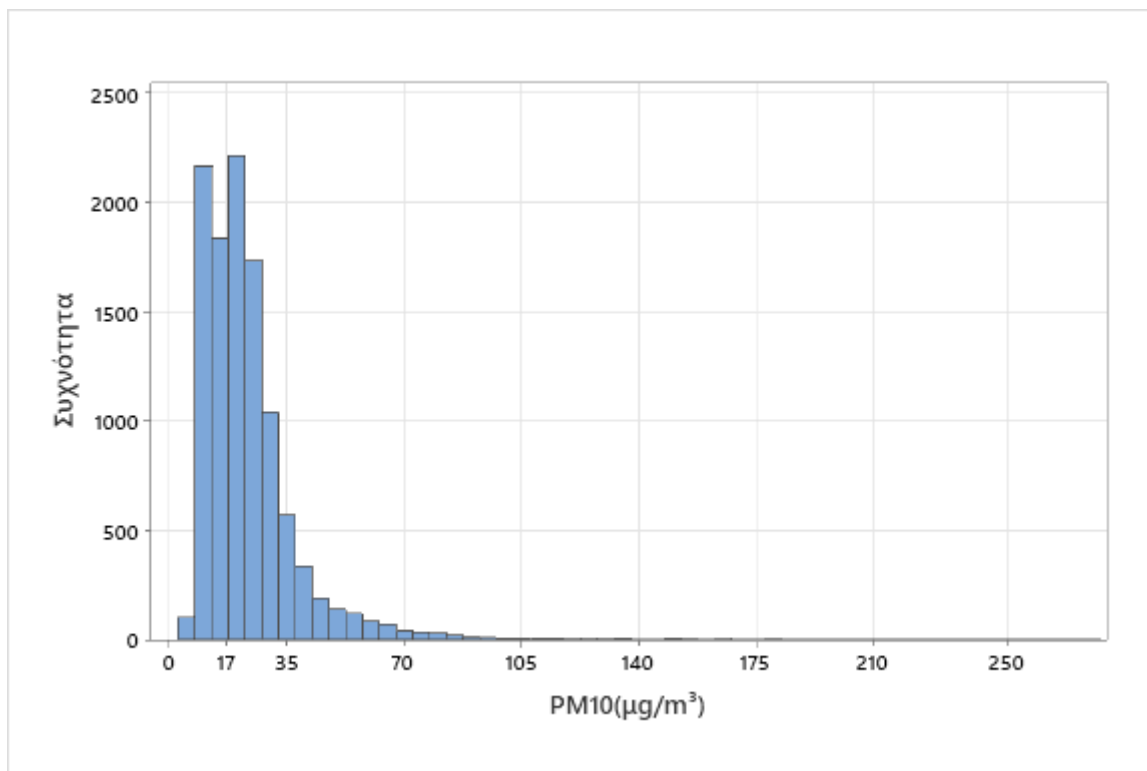


Διάγραμμα 9.11:Χρονοσειρά μετρήσεων $PM_{2.5}$ καλοκαιριού κατά την άφιξη του πλοίου

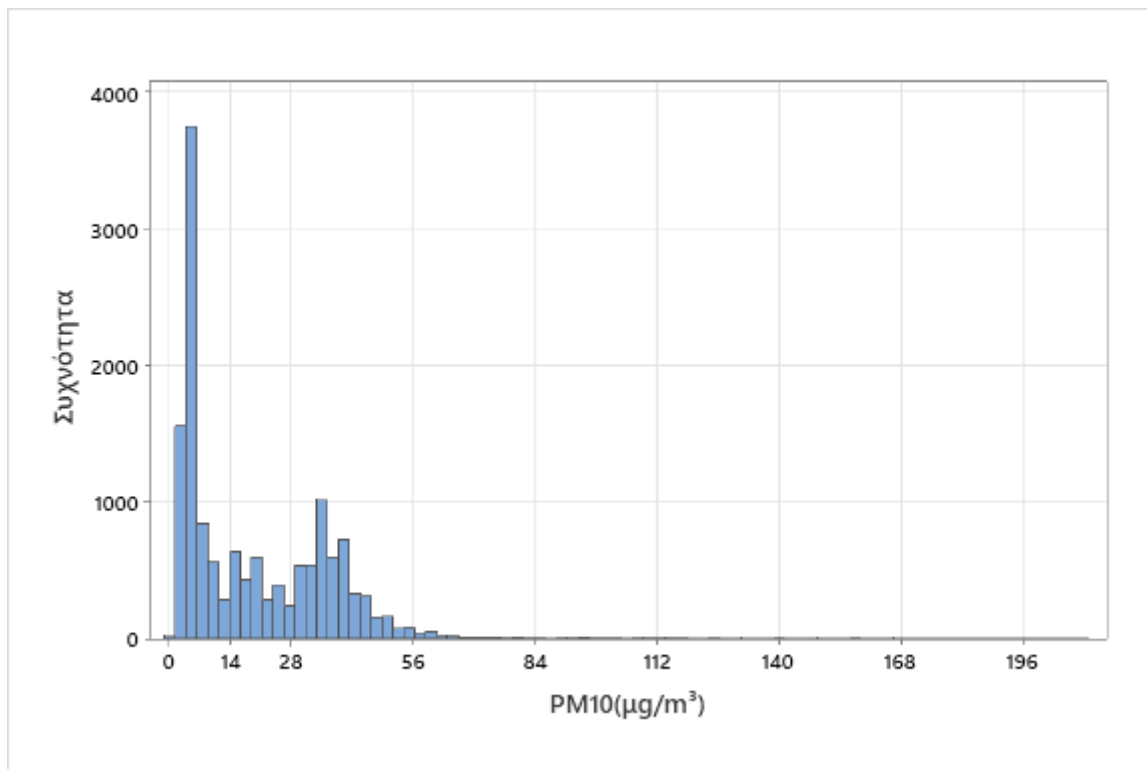


Διάγραμμα 9.12:Χρονοσειρά μετρήσεων $PM_{2.5}$ καλοκαιριού κατά την αναχώρηση του πλοίου

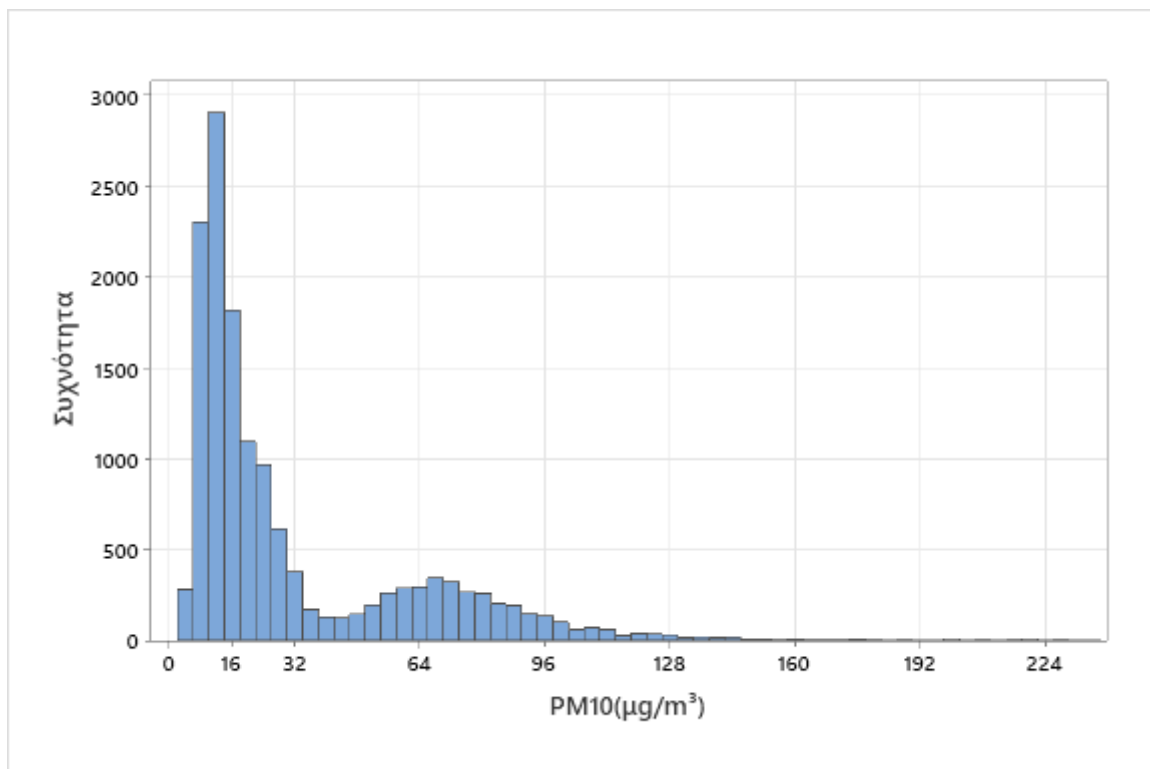
9.3 Ιστογράμματα συχνοτήτων PM_{10} και $PM_{2.5}$



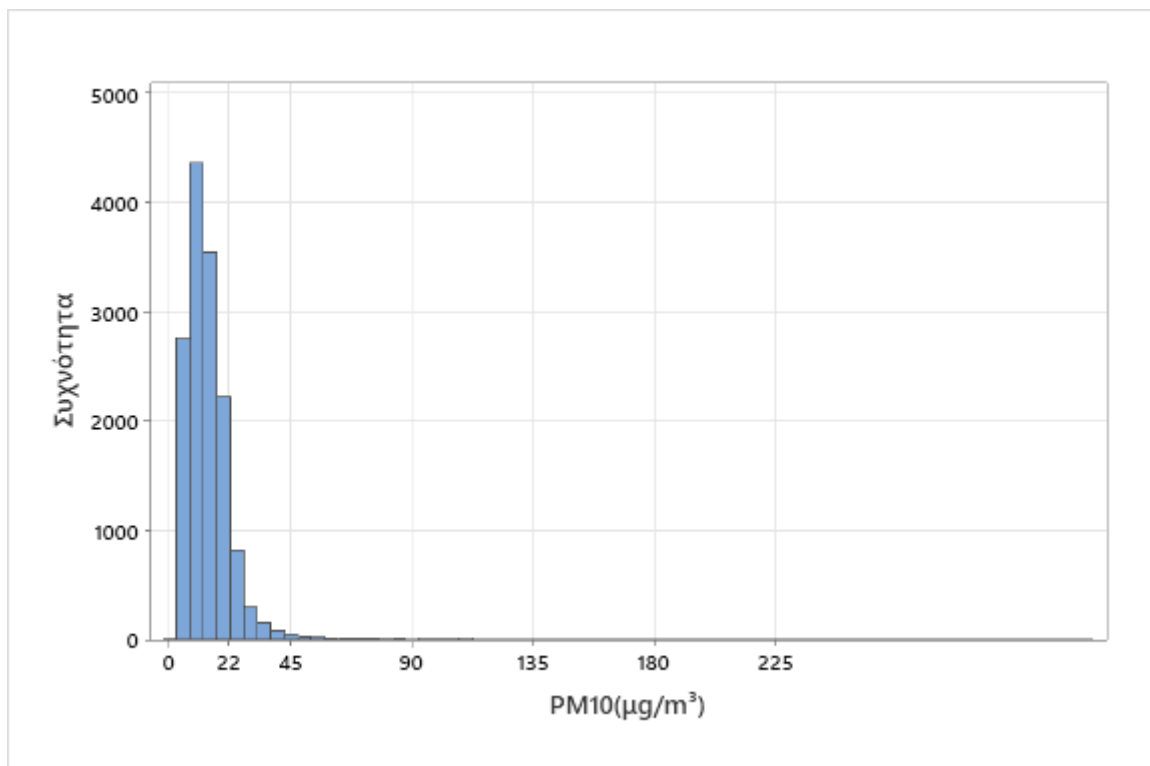
Διάγραμμα 9.13: Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων PM_{10} χειμώνα κατά την άφιξη του πλοίου



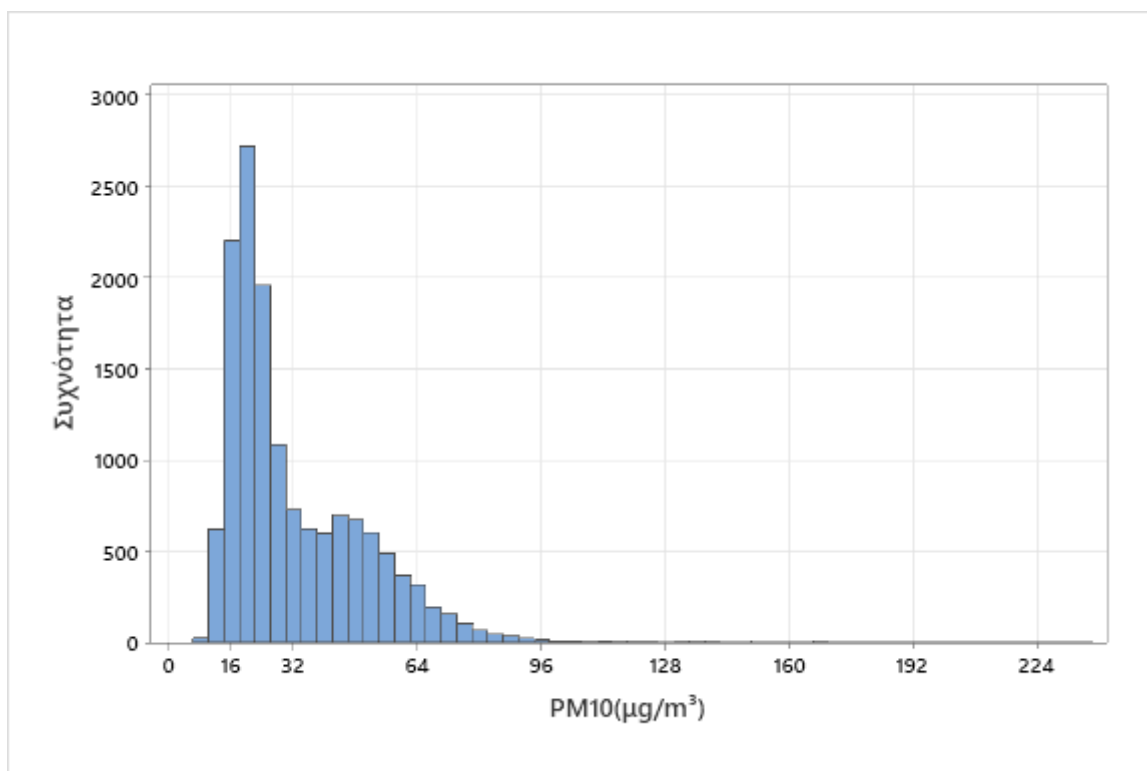
Διάγραμμα 9.14: Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων PM_{10} χειμώνα κατά την αναχώρηση του πλοίου



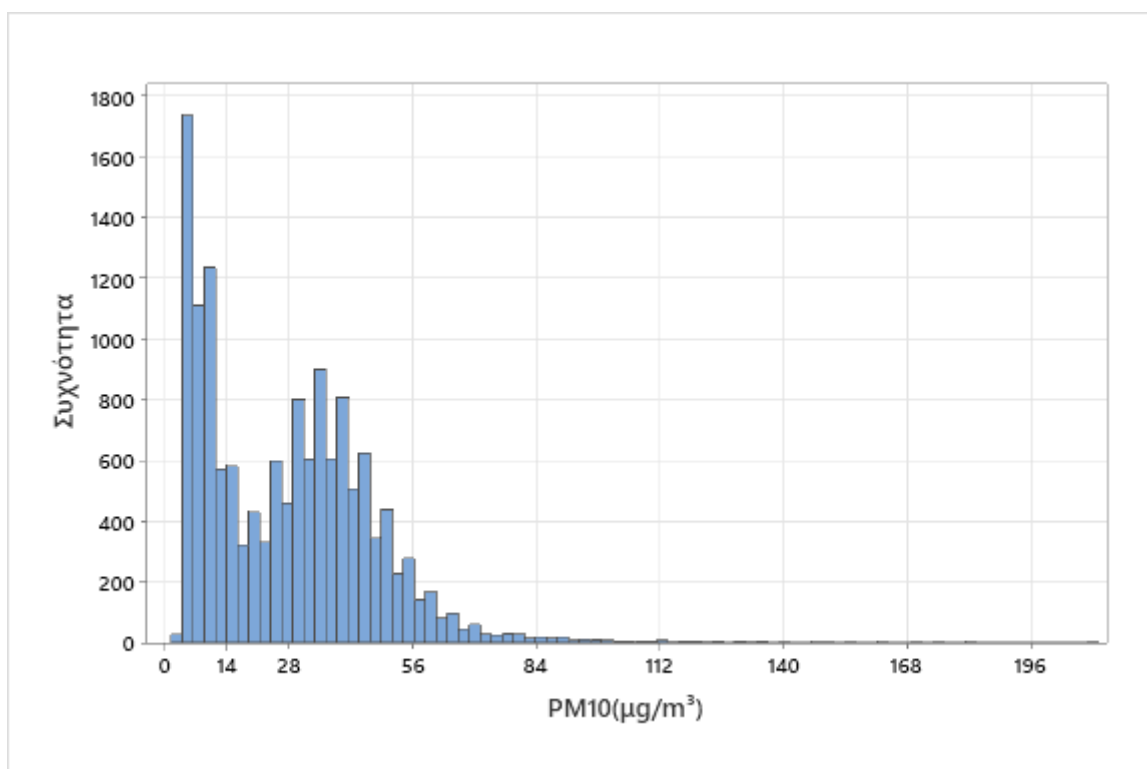
Διάγραμμα 9.15: Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων PM_{10} άνοιξης κατά την άφιξη του πλοίου



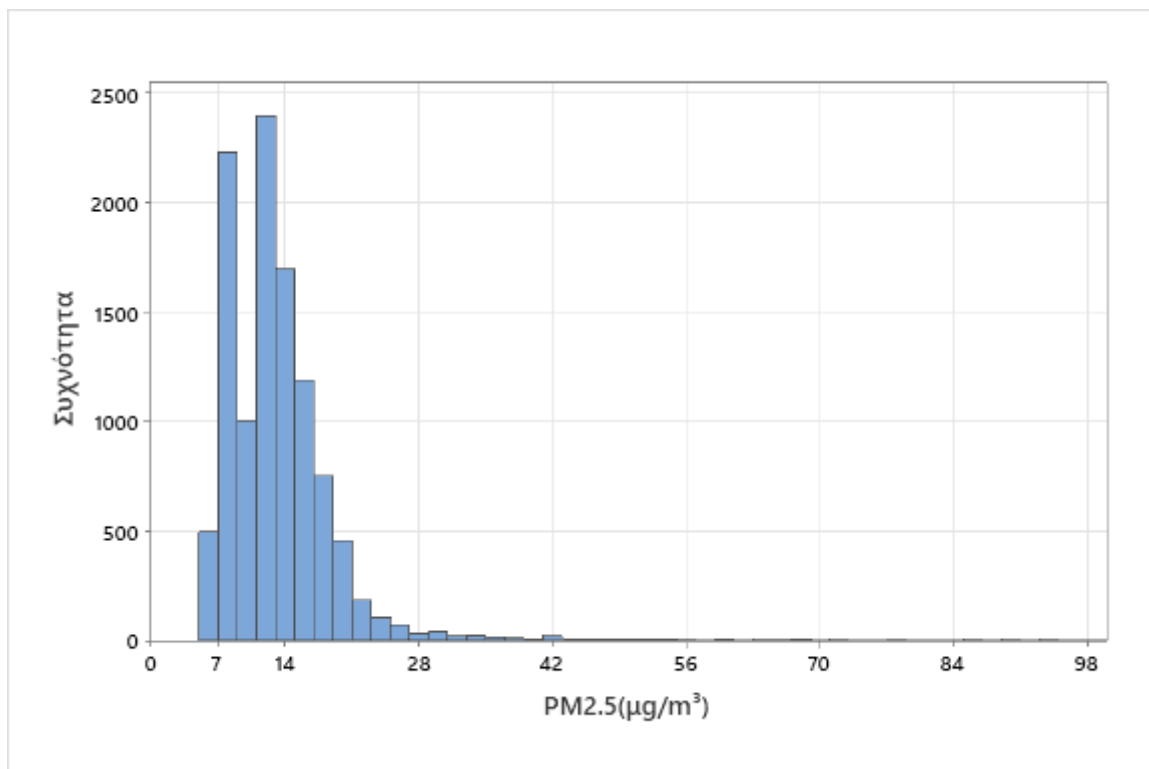
Διάγραμμα 9.16: Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων PM_{10} άνοιξης κατά την αναχώρηση του πλοίου



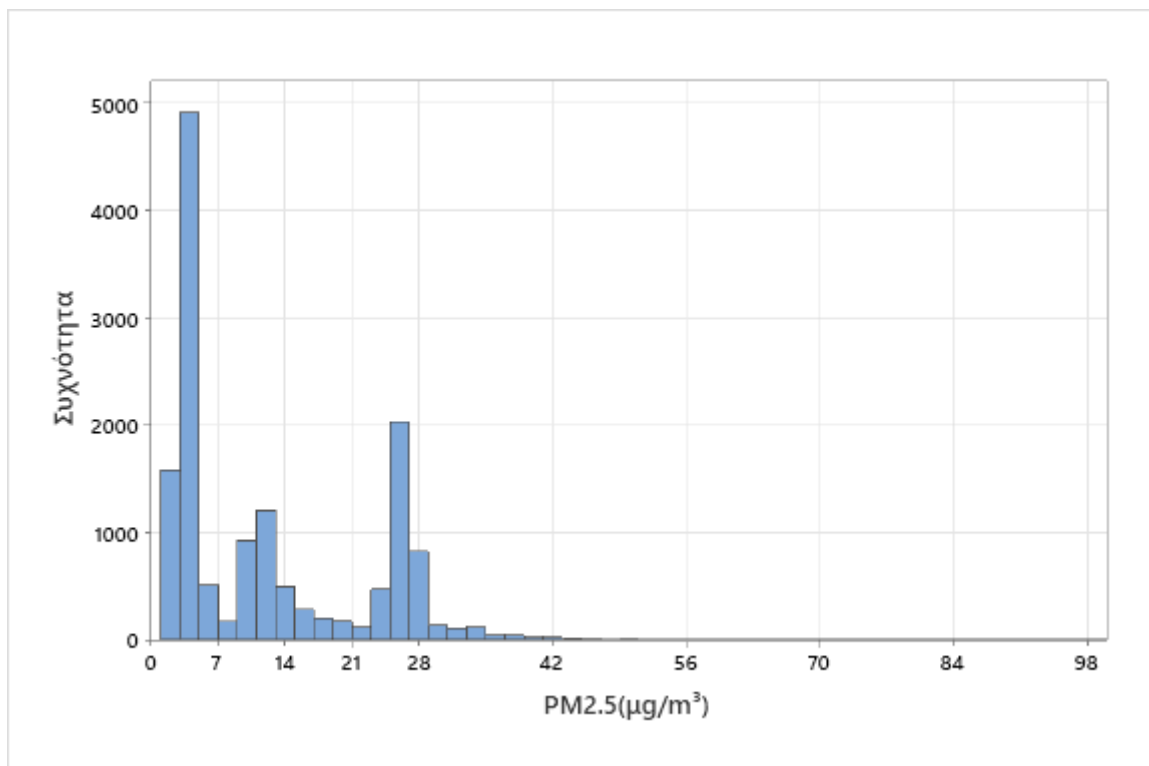
Διάγραμμα 9.17: Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων PM_{10} καλοκαιριού κατά την άφιξη του πλοίου



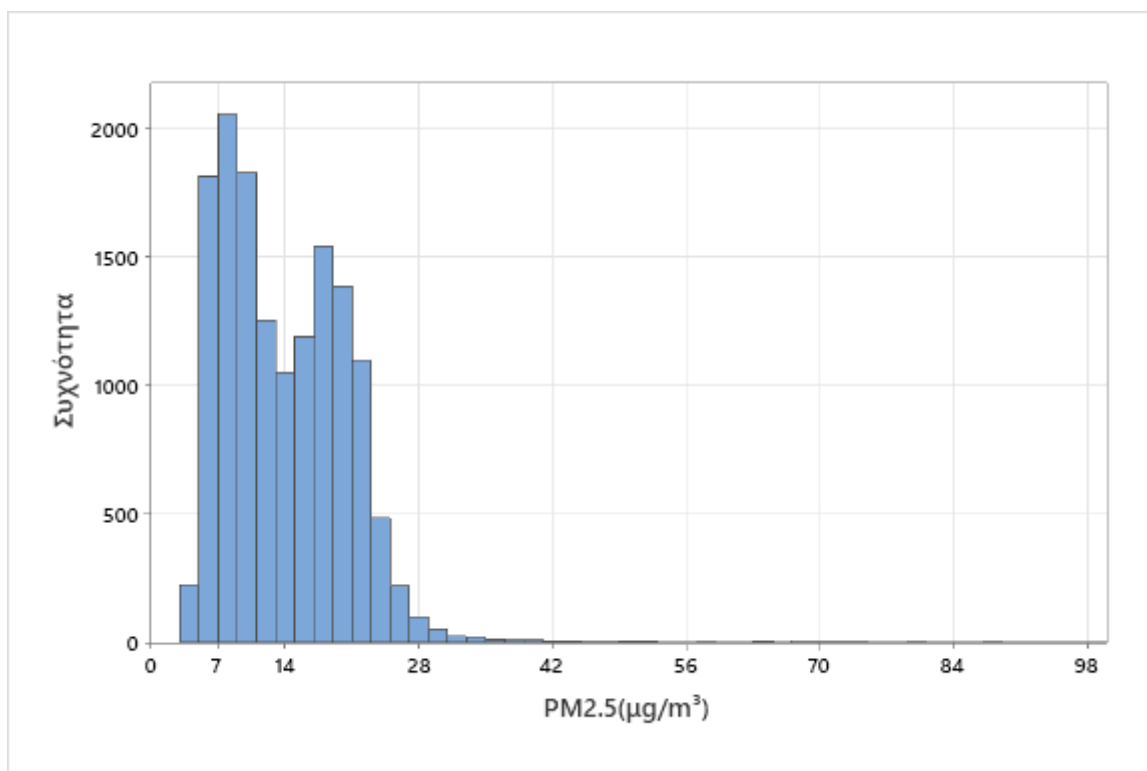
Διάγραμμα 9.18: Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων PM_{10} καλοκαιριού κατά την αναχώρηση του πλοίου



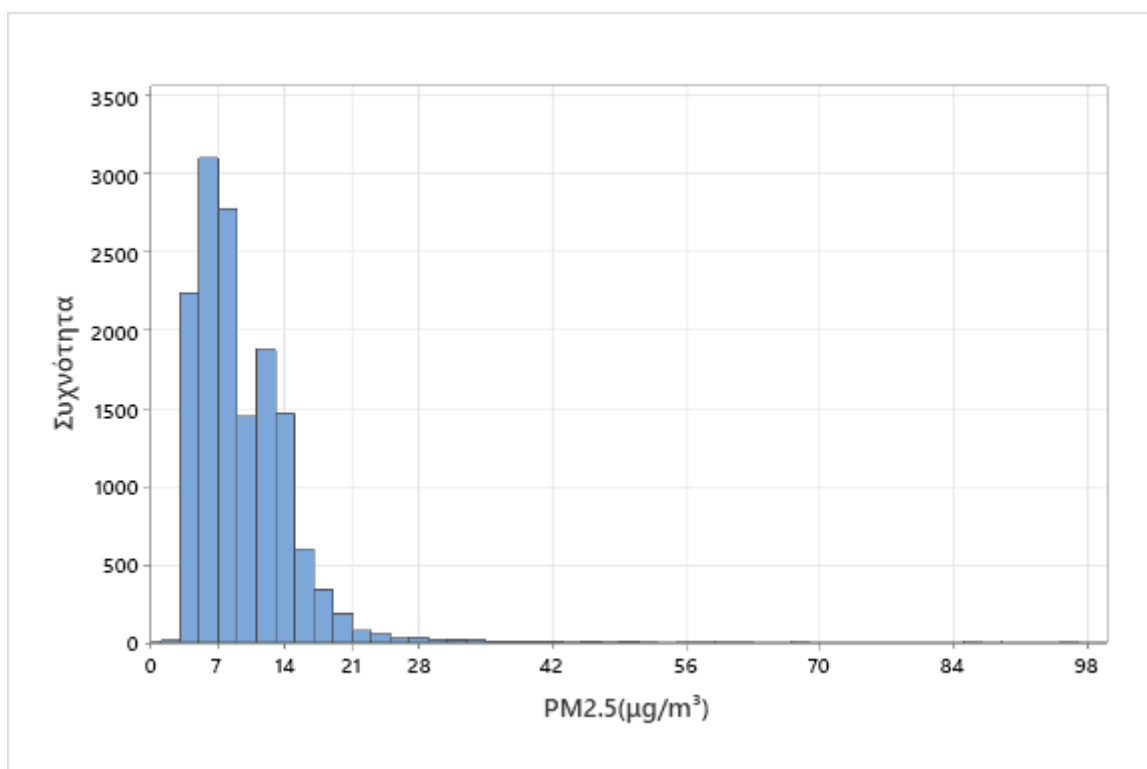
Διάγραμμα 9.19: Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$ χειμώνα κατά την άφιξη του πλοίου



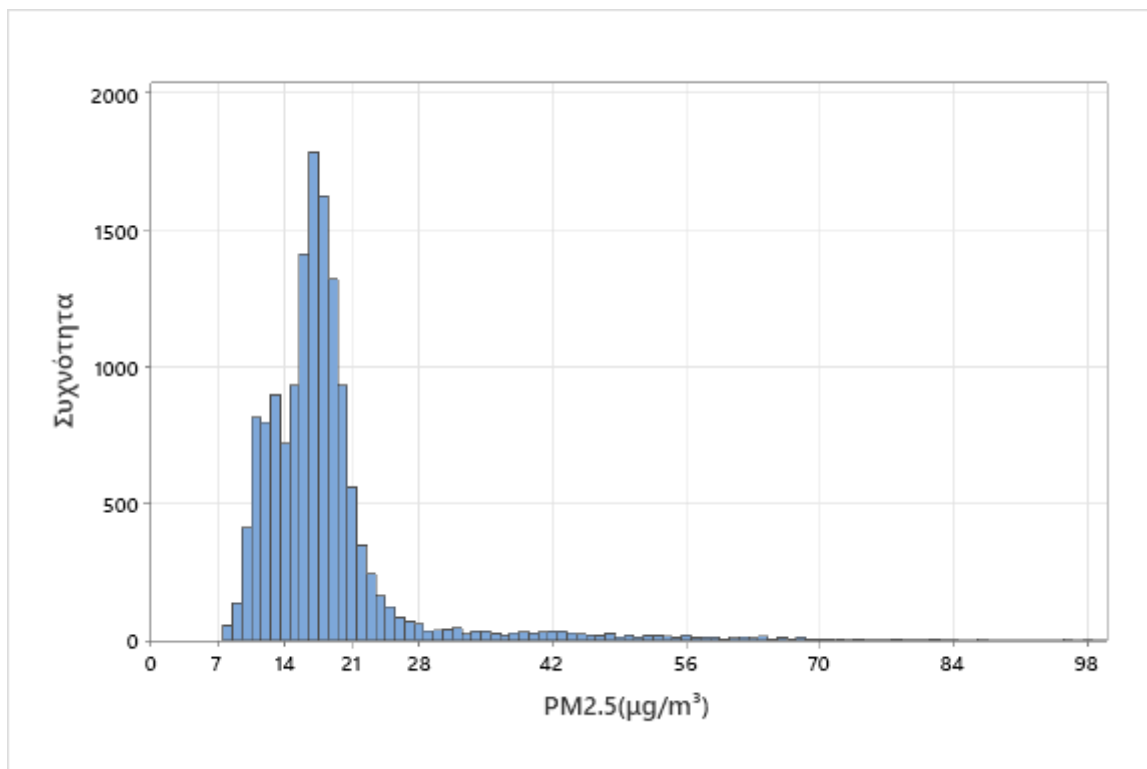
Διάγραμμα 9.20: Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$ χειμώνα κατά την αναχώρηση του πλοίου



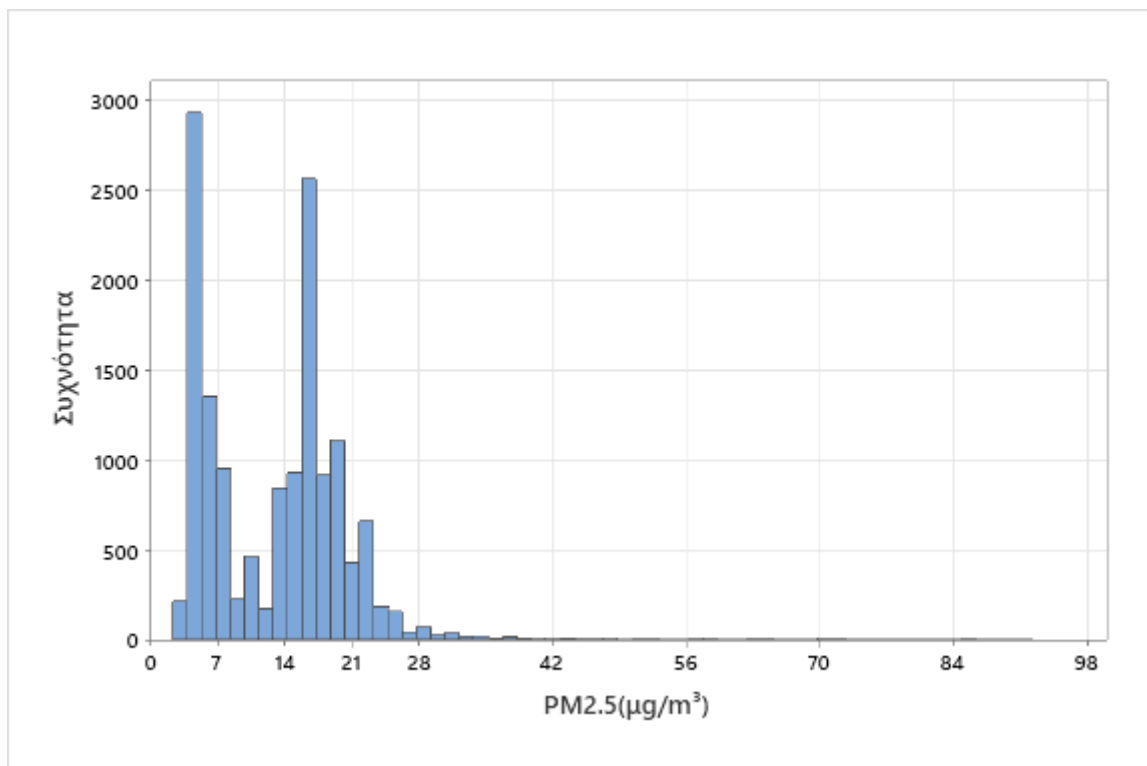
Διάγραμμα 9.21: Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$ άνοιξης κατά την άφιξη του πλοίου



Διάγραμμα 9.22: Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$ άνοιξης κατά την αναχώρηση του πλοίου



Διάγραμμα 9.23:Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$ καλοκαιριού κατά την άφιξη του πλοίου



Διάγραμμα 9.24:Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$ καλοκαιριού κατά την αναχώρηση του πλοίου