

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Υπολογισμός της συγκέντρωσης αέριων ρύπων και επίδρασης στην ανθρώπινη υγεία από εκπομπές πλοίων στο λιμάνι της Σούδας»

ΛΙΑΚΑΤΑ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθ. Λαζαρίδης Μιχαήλ (Επιβλέπων Καθηγητής)

Καθ. Κολοκοτσά Διονυσία

Καθ. Τσούτσος Θεοχάρης

ΧΑΝΙΑ 2019

Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας επιτεύχθηκε, μέσω μιας σειράς υποστήριξης από πολλών ανθρώπων για τους οποίους θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Μιχάλη Λαζαρίδη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την αδιάκοπη καθοδήγησή του και υπομονή του σε όλη την διπλωματική μου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής που παρευρέθηκαν στην παρουσίαση της διπλωματικής μου.

Την κυρία Χαλβατζάκη Ελευθερία για την πολύτιμη καθημερινή σχεδόν βοήθεια της σχετικά με το υλικό αλλά και με την διευθέτηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Το Αστεροσκοπείο Αθηνών για την άμεση παροχή των μετεωρολογικών δεδομένων.

Τις ακτοπλοϊκές εταιρείες Anek lines και Minoan lines για τον χρόνο που διέθεσαν, χωρίς δισταγμό, να μου παρέχουν τα δεδομένα που ήταν αναγκαία για τους υπολογισμούς.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την συμπαράσταση, την υπομονή και την ενθάρρυνση να ακολουθήσω τα όνειρα μου στον κλάδο του Μηχανικού Περιβάλλοντος. Η θετική τους σκέψη συνέβαλε στην ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής με επιτυχία.

Περίληψη

Η ρύπανση του περιβάλλοντος είναι ένα θέμα το οποίο έχει αρχίσει να προβληματίζει έντονα καθώς φαίνεται ότι είναι ιδιαίτερα περίπλοκο, και δεν περιορίζεται πλέον γεωγραφικά, αλλά επηρεάζει συνολικά όλη την υφήλιο.

Φυσικά το πρόβλημα της ρύπανσης έχει αναδειχθεί ως ένα από τα πιο σημαντικά τα τελευταία χρόνια, αλλά η αρχή έχει γίνει εδώ και αρκετές δεκαετίες με τη βιομηχανική επανάσταση να αποτελεί σταθμό στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

Σήμερα με την υπογραφή διαφόρων πρωτοκόλλων, την ίδρυση περιβαλλοντικών οργανισμών αλλά και την ευαισθητοποίηση του κοινού για περιβαλλοντικά θέματα, γίνεται μία προσπάθεια καταγραφής και αντιμετώπισης του παγκόσμιου αυτού φαινομένου.

Η παγκόσμια ναυτιλιακή βιομηχανία έχει μεγάλη σημασία για την οικονομική δραστηριότητα πολλών χωρών, καθώς το 80% του εμπορίου κατ' όγκο, διεξάγεται μέσω θαλάσσιων μεταφορών.

Στη συγκεκριμένη εργασία μελετήθηκαν οι εργασίες που πραγματοποιούνται κατά την παραμονή των πλοίων στο αγκυροβόλιο όπου τα πλοία λειτουργούν είτε ως ξενοδοχείο (hoteling) είτε στην περίπτωση των επιβατηγών όπου απλά περιμένουν για το επόμενο απόπλου τους. Στη φάση αυτή τα πλοία παράγουν ηλεκτρισμό χρησιμοποιώντας τις δικές τους βοηθητικές μηχανές οι οποίες δημιουργούν θόρυβο και εκπέμπουν ρύπους. Το γεγονός αυτό αποτελεί μία πρόσθετη πηγή ρύπανσης στα λιμάνια με σημαντικούς κινδύνους για την υγεία στις κοντινές κοινότητες. Συγκεκριμένα, η παρούσα διπλωματική εξετάζει τα επίπεδα συγκεντρώσεων των εκπεμπόμενων ρύπων PM_{10} , SO_2 , NO_x και CO στην περιοχή της Σούδας από πλοία τα οποία σταθμεύουν στο λιμάνι της Σούδας για το έτος 2018.

Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο ISC3 το οποίο ήταν προσβάσιμο μέσω της EPA (Environmental Protection Agency). Επίσης χρησιμοποιήθηκαν δυο προγράμματα Marplot και Aloha που παρεχόταν δωρεάν από την EPA, για την απεικόνιση της διασποράς των παραπάνω ρύπων στην περιοχή της Σούδας. Επί προσθέτως, έγινε ποσοτικός υπολογισμός για τα επίπεδα των εκπεμπόμενων ρύπων $PM_{2.5}$, SO_2 και NO_x , τα οποία υπολογίστηκαν με μαθηματικό τρόπο χρησιμοποιώντας εξισώσεις. Τέλος, γίνεται εκτίμηση των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία μετά από χρόνια έκθεση σε PM χρησιμοποιώντας το μοντέλο ExDom2.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου ISC3 παρατηρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις PM_{10} ($34,86 \mu g/m^3$), χωρίς όμως να υπερβαίνουν το νομοθετικό όριο ($50 \mu g/m^3$). Επίσης, παρατηρήθηκαν συγκεντρώσεις σε φυσιολογικά επίπεδα αυτών των CO ($30,12 \mu g/m^3$), NO_x ($45,63 \mu g/m^3$) και SO_2 ($28,68 \mu g/m^3$) με νομοθετικά όρια $10 mg/m^3$, $200 \mu g/m^3$ και $125 \mu g/m^3$ αντίστοιχα, το οποίο είναι πολύ θετικό για την γύρω περιοχή και τους κατοίκους.

ABSTRACT

Air pollution is a matter that has already started to trouble the environment and its people. It seems that it is a pretty complicated problem to deal with as it is not geographically limited but affects the whole world.

The pollution problem has been highlighted as one of the main problem for the last years. Today, with the signing of various protocols, the establishment of environmental institutes and the sensitization of the public for the environmental problems, an effort of recording and coping with this global phenomenon is being made.

Nowadays, the global shipping industry is of great importance for the economic activity of many countries, as the 80% of the merchandise per volume is carried out through maritime transports. Furthermore, the shipping industry is the most efficient method of international transports for most of the products. It provides valuable, low cost means of transport of the merchandise in an international level.

In this diploma thesis we investigate the activities that are made during the docking of the ships in the port of Souda, either they operate as a hotel or waiting for their departure. In this state, ships produce electricity using their own auxiliary engines, which produce noise and air pollution. This air pollution is an additional source of pollution in port with significant dangers in human health on nearby communities.

In particular this project examines the concentration levels of PM_{10} emissions SO_2 , NO_x and CO emitted in the Souda area by ships which are stationed at Souda port for the year 2018. For this purpose the ISC3 model, which was accessible via the EPA (Environmental Protection Agency), was used. Also, Marplot and Aloha programs were provided free of charge by EPA to illustrate the dispersion of these pollutants in the Souda area.

In addition, a quantitative calculation was made for $PM_{2.5}$, SO_2 and NO_x emission levels, which were calculated in a mathematical way using equations. Ending, an evaluation is made of the effects on human health after chronic exposure to suspended particles, using the ExDom2 model.

According to our findings using the ISC3 model, high concentrations of PM_{10} were noticed ($34.86 \mu g/m^3$) but without exceeding the legislative limits ($50 \mu g/m^3$). Also, concentrations of CO ($30,12 \mu g/m^3$), NO_x ($45,63 \mu g/m^3$) and SO_2 ($28,68 \mu g/m^3$) with the legislative limits of $10 mg/m^3$, $200 \mu g/m^3$ και $125 \mu g/m^3$ respectively, were noticed to be at normal rates which is very positive for the environment of Souda and its habitants.

Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες	3
Περίληψη	4
ABSTRACT	5
Πίνακας Εικόνων	8
Πίνακας Διαγραμμάτων	9
Πίνακες	10
Κεφάλαιο 1 ^ο	11
1.1 Εισαγωγή	11
1.2 Περιγραφή λιμένα	13
Κεφάλαιο 2 ^ο	14
2.1. Ναυτιλία και ρύπανση	14
2.2. Ατμοσφαιρικοί ρύποι	16
2.3. Εκπομπές κινητήρων πλοίων	16
2.4. Επιπτώσεις στο περιβάλλον από τις εκπομπές ρύπων	17
2.4.1. Φαινόμενο του θερμοκηπίου	18
2.4.2 Όξινη βροχή	19
2.5. Ανάλυση ρύπων	20
2.5.1. Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	20
2.5.2. Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	20
2.5.3. Οξείδια του αζώτου (NO _x)	21
2.5.4. Αιωρούμενα σωματίδια (PM)	21
2.5.5. Νομοθετικά όρια ατμοσφαιρικών ρύπων	22
Κεφάλαιο 3 ^ο	23
3.1. Περιγραφή και κατηγοριοποίηση πλοίων	23
3.2. Μέρη πλοίου	23
3.3. Είδη πλοίων	25
3.4 Περιγραφή μηχανής εσωτερικής καύσης πλοίων	26
3.4.1. Γενικά	26
3.4.2 Γενική κατάταξη των MEK	26

3.4.3 Αρχές λειτουργίας και περιγραφή εμβολοφόρου παλινδρομικής μηχανής εσωτερικής καύσεως	28
3.4.4 Χρήση των πετρελαιοκινητήρων.....	29
3.4.5. Χρήση των βενζινοκινητήρων.....	29
Κεφάλαιο 4 ^ο	31
4.1. Ποσοτικός υπολογισμός PM _{2,5} , NO _x και SO ₂	31
4.2. Ισχύς βοηθητικής μηχανής	33
4.3. Ποσοτικά αποτελέσματα εκπεμπόμενων ρύπων σε τόνους	34
4.3.1. Αποτελέσματα PM _{2,5} σε τόνους	37
4.3.2. Αποτελέσματα SO ₂ σε τόνους	39
4.3.3. Αποτελέσματα NO _x σε τόνους	39
Κεφάλαιο 5 ^ο	42
5.1. Περιγραφή του μοντέλου ISC3	42
Κεφάλαιο 6 ^ο	47
6.1. Μετεωρολογικά Δεδομένα	47
6.2 Εκτίμηση μετεωρολογικών παραμέτρων	48
6.2.1. Εκτίμηση διεύθυνσης ανέμου	48
6.2.2.Εκτίμηση ταχύτητας ανέμου	49
6.2.3.Εκτίμηση θερμοκρασίας	49
6.2.4.Εκτίμηση κλάσης ισορροπίας (σταθερότητας).....	49
6.2.5.Εκτίμηση ύψους ανάμιξης	50
6.2.6. Υπολογισμός μήκους Monin-Obukhov, παραμέτρου Ψm και ταχύτητας τριβής	51
6.3. Μετεωρολογικά αποτελέσματα	53
6.3.1. Ταχύτητα ανέμου	54
6.3.2.Θερμοκρασία.....	55
6.3.3.Ύψος ανάμιξης.....	55
6.4 Αποτελέσματα μοντέλου ISC3.....	56
Κεφάλαιο 7 ^ο	64
7.1 Διασπορά ρύπων στην περιοχή της Σούδας	64
7.1.1. Aloha	64

7.1.2. Δεδομένα εισόδου Aloha	65
7.2 Marplot	66
7.3. Διασπορά NO ₂	67
7.4 Διασπορά SO ₂	68
7.5. Διασπορά PM.....	69
Κεφάλαιο 8°	70
8.1. Μοντέλο ExDoM 2	70
8.2 Αποτελέσματα μοντέλου ExDoM 2	71
Κεφάλαιο 9°	78
9.1. Επιπτώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία του ανθρώπου	78
9.1.1 Αναπνευστικό σύστημα	79
9.2. Όργανα αναπνευστικού συστήματος.....	79
9.2.1. Μηχανισμοί εναπόθεσης αιωρούμενων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα	80
9.2.2 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία	80
9.3. Μηχανισμοί απομάκρυνσης σωματιδίων από το αναπνευστικό σύστημα	81
Κεφάλαιο 10°	82
10.1 Συμπεράσματα	82
Κεφάλαιο 11°	83
11.1 Προτάσεις για περιορισμό της ρύπανσης από πλοία	83

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Κάτοψη λιμένα Σούδας. Πηγή: Google maps.....	14
Εικόνα 2: Συνεισφορά Ναυτιλίας στις παγκόσμιες εκπομπές CO ₂	18
Εικόνα 3: Το φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	19
Εικόνα 4: Κατηγορίες πλοίων.	23
Εικόνα 5: Μέρη ενός κοινού πλοίου.....	24
Εικόνα 6: Κρουαζιερόπλοιο.	26
Εικόνα 7: Βενζινοκινητήρας.	30
Εικόνα 8: Εμβολοφόρα μηχανή.....	39
Εικόνα 9: Μέρη εμβολοφόρας μηχανής.....	31
Εικόνα 10: Εισαγωγή δεδομένων στο μετεωρολογικό αρχείο του ISC3-ST.....	44

Εικόνα 11: Εισαγωγή δεδομένων στο μοντέλο ISC3.	45
Εικόνα 12: Εισαγωγή παραμέτρων στο κυρίως αρχείο του ISC3-ST.	46
Εικόνα 13: Παράδειγμα αποτελεσμάτων αρχείου «Maxial».	47
Εικόνα 14: Ανεμολόγιο.	48
Εικόνα 15: Περιβάλλον Aloha.	66
Εικόνα 16: Περιβάλλον Marplot	67
Εικόνα 17: Διασπορά NO ₂ στην περιοχή της Σούδας.	68
Εικόνα 18: Διασπορά SO ₂ στην περιοχή της Σούδας.	69
Εικόνα 19: Διασπορά PM στην περιοχή της Σούδας.	69
Εικόνα 20: Το περιβάλλον εργασίας του ExDoM 2 για εισαγωγή δεδομένων μάζας αιωρούμενων σωματιδίων.	71
Εικόνα 21: Δομή αναπνευστικού συστήματος.	79

Πίνακας Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Εκπεμπόμενη μάζα αιωρούμενων σωματιδίων ανά εποχή και συνολική ποσότητα.	38
Διάγραμμα 2: Εκπεμπόμενη μάζα διοξειδίου του θείου ανά εποχή και συνολική ποσότητα.	39
Διάγραμμα 3: Εκπεμπόμενη μάζα οξειδίων του αζώτου ανά εποχή και συνολική ποσότητα.	40
Διάγραμμα 4: Συνολική εκπεμπόμενη μάζα ανά ρύπο.	41
Διάγραμμα 5: Ποσοστό ρύπων.	41
Διάγραμμα 6: Απεικόνιση διακύμανσης ωριαίων ταχυτήτων μέσης ημέρας για χειμώνα και καλοκαίρι στην περιοχή της Σούδας.	54
Διάγραμμα 7: Απεικόνιση διακύμανσης θερμοκρασιών μέσης ημέρας για κάθε εποχή στην περιοχή της Σούδας.	55
Διάγραμμα 8: Απεικόνιση ύψους ανάμιξης μέσης ημέρας για κάθε εποχή στην περιοχή της Σούδας.	56
Διάγραμμα 9: Απεικόνιση συγκέντρωσης PM ₁₀ ανά εποχή στο λιμάνι της Σούδας χρησιμοποιώντας το μοντέλο ISC3.	58
Διάγραμμα 10: Απεικόνιση συγκέντρωσης NO _x ανά εποχή στο λιμάνι της Σούδας χρησιμοποιώντας το μοντέλο ISC3.	60
Διάγραμμα 11: Απεικόνιση συγκέντρωσης SO ₂ ανά εποχή στην περιοχή της Σούδας χρησιμοποιώντας το μοντέλο ISC3.	62
Διάγραμμα 12: Απεικόνιση συγκέντρωσης CO ανά εποχή στο λιμάνι της Σούδας χρησιμοποιώντας το μοντέλο ISC3.	64
Διάγραμμα 13: Ημερήσια εναποτιθέμενη δόση ενήλικα άνδρα στο αναπνευστικό σύστημα.	72

Διάγραμμα 14: Ημερήσια εναποτιθέμενη δόση ενήλικα άνδρα στην περιοχή των λεμφαδένων.	73
Διάγραμμα 15: Ωριαία αθροιστική δόση στην περιοχή των λεμφαδένων.	74
Διάγραμμα 16: Ωριαία αθροιστική δόση στο αναπνευστικό σύστημα.	74
Διάγραμμα 17: Ωριαία δόση στο αίμα.	75
Διάγραμμα 18: Ωριαία δόση στο γαστρεντερικό σύστημα.	75
Διάγραμμα 19: Ωριαίος αθροιστικός ρυθμός δόσης στην περιοχή των πνευμόνων. .	76
Διάγραμμα 20: Ωριαίος αθροιστικός ρυθμός δόσης στην εκτός θώρακα περιοχή.	77
Διάγραμμα 21: Συνολική ωριαία αθροιστική εναποτιθέμενη δόση μg σε συνάρτηση με την συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).	78

Πίνακες

Πίνακας 1 :Θεσμοθετημένα όρια εκπομπών	22
Πίνακας 2: Συντελεστής φορτίου για τα πλοία στο λιμάνι της Σούδας.	32
Πίνακας 3: Συντελεστής εκπομπών για κύρια και βοηθητική μηχανή για δραστηριότητες εντός λιμένα.	33
Πίνακας 4: Ποσοστό βοηθητικής μηχανής.	33
Πίνακας 5: Αποτελέσματα εκπομπών $\text{PM}_{2,5}$ για τον χειμώνα.	34
Πίνακας 6: Αποτελέσματα εκπομπών $\text{PM}_{2,5}$ για την άνοιξη.	35
Πίνακας 7: Αποτελέσματα εκπομπών $\text{PM}_{2,5}$ για το καλοκαίρι.	36
Πίνακας 8: Αποτελέσματα εκπομπών $\text{PM}_{2,5}$ για το φθινόπωρο.	37
Πίνακας 9: Συνολικά αποτελέσματα $\text{PM}_{2,5}$	38
Πίνακας 10: Συνολικά αποτελέσματα SO_2	39
Πίνακας 11: Συνολικά αποτελέσματα NO_x	40
Πίνακας 12: Συνολικά ποσοτικά αποτελέσματα των ρύπων.	40
Πίνακας 13: Οι κλάσεις ισορροπίας (σταθερότητας) κατά τροποποιημένο Pasquill .	49
Πίνακας 14: Επιλογή νέφωσης.	49
Πίνακας 15: Τιμές συντελεστών a και b σε συνάρτηση των κλάσεων ευστάθειας.	50
Πίνακας 16: Μήκος τραχύτητας (z_0) για διάφορες κατηγορίες εδαφοκάλυψης.	51
Πίνακας 17: Αποτελέσματα PM_{10} μοντέλου ISC3 ανά εποχή στο λιμάνι της Σούδας.	58
Πίνακας 18: Αποτελέσματα NO_x μοντέλου ISC3 ανά εποχή στο λιμάνι της Σούδας.	59
Πίνακας 19: Αποτελέσματα SO_2 μοντέλου ISC3 ανά εποχή στο λιμάνι της Σούδας. ..	62
Πίνακας 20: Αποτελέσματα CO μοντέλου ISC3 ανά εποχή στο λιμάνι της Σούδας. ..	63
Πίνακας 21: Συγκεντρώσεις NO_2 σύμφωνα με το χρώμα της εικονιζόμενης περιοχής.	67
Πίνακας 22: Συγκεντρώσεις SO_2 σύμφωνα με το χρώμα της εικονιζόμενης περιοχής.	68

Κεφάλαιο 1°

1.1 Εισαγωγή

Περιβάλλον είναι το σύνολο των φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων και στοιχείων που βρίσκονται σε αλληλεπίδραση και επηρεάζουν την οικολογική ισορροπία, την ποιότητα ζωής, την υγεία των κατοίκων, την ιστορική και πολιτιστική παράδοση και τις αισθητικές αξίες μιας περιοχής. Μεγάλη είναι η σημασία του φυσικού περιβάλλοντος (νερό, έδαφος, κλίμα, ατμόσφαιρα) για την επιβίωση του ανθρώπου και τη διατήρηση των οικοσυστημάτων. Το περιβάλλον επιδρά στη σωματική, πνευματική και ψυχική διάπλαση του ανθρώπου συντελώντας στη διαμόρφωση της προσωπικότητάς του.

Ως εκ τούτου η ποιότητα της ανθρώπινης ζωής εξαρτάται από το περιβάλλον, στοιχείο του οποίου είναι και ο αέρας. Ο αέρας αποτελεί ένα από τα πιο πολύτιμα φυσικά αγαθά. Αν και είναι γνωστή η μεγάλη σημασία του για τη ζωή, ωστόσο είναι συνεχής η υποβάθμιση της ποιότητάς του. Η υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα είναι κομμάτι της περιβαλλοντικής ρύπανσης και συνδέεται άμεσα με την εξέλιξη της τεχνολογίας και της επιστήμης, η πρόοδος των οποίων εκτός από σημαντικά οφέλη που προσφέρει στην ανθρωπότητα έχει επίσης και δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και κατά συνέπεια στην υγεία των ανθρώπων. Το πρόβλημα εντοπίζεται κυρίως στα μεγάλα αστικά κέντρα, όπου και έχει αρχίσει να λαμβάνει ανησυχητικές διαστάσεις. Η διαρκής βιομηχανοποίηση των τελευταίων δεκαετιών έχει αρχίσει να προκαλεί σημαντική μεταβολή στο αστικό περιβάλλον. Ο αστικός χώρος σήμερα χαρακτηρίζεται από μεγάλη συγκέντρωση πληθυσμού, κτιρίων, αυτοκινήτων και πλοίων. Η συγκεκριμένη διπλωματική θα εστιάσει στη περιβαλλοντική ρύπανση των πλοίων εντός λιμενικών ορίων.

Τα λιμάνια αποτελούν φυσικές περιοχές για τη μεταφόρτωση, ώστε να γίνεται η μεταφορά προϊόντων από το ένα μέσο μεταφοράς στο άλλο. Αποτελούν το μέσο σύνδεσης μεταξύ θαλάσσιων και χερσαίων μεταφορών, και τη διασύνδεση μεταξύ θάλασσας και ποταμών, δρόμων και σιδηρόδρομων. Επίσης, έχουν ουσιαστικό ρόλο για την οικονομική ανάπτυξη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το 75% εισαγωγών και εξαγωγών και 37% του εσωτερικού εμπορίου της Ένωσης εκτελούνται με πλοία που επίσης συνδέουν περιφερειακές και νησιωτικές περιοχές με την ηπειρωτική Ευρώπη. (Helmera, Ελληνική Ένωση Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος). Επομένως, παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην εφοδιαστική αλυσίδα καθώς οι μεταφορές είναι αναπόσπαστο κομμάτι της αλυσίδας (C. Wang, J. J. Corbett, and J. Firestone, "Modeling energy use and emissions from North American shipping: Application of the ship traffic, energy, and environment model," Environ. Sci. Technol., vol. 41, no. 9, pp. 3226–3232, 2007.)

Τα πάνω από 60.000 εμπορικά πλοία της παγκόσμιας ναυτιλίας μεταφέρουν το 99,6% των εμπορευμάτων με ασφάλεια στον προορισμό τους με πιο χαμηλό κόστος. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την αύξηση των αναγκών, σήμερα τα πλοία κατασκευάζονται και εξοπλίζονται με συστήματα και μηχανισμούς ανάλογα με το είδος των φορτίων που πρόκειται να μεταφέρουν (Helmera, Ελληνική Ένωση Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος). Το σύγχρονο λιμάνι δεν αποτελεί κατάληξη ή εκκίνηση των μεταφορών αλλά λειτουργεί ως ενδιάμεσο διαμετακομιστικό σημείο προϊόντων και υπηρεσιών και ως συνδετικός κρίκος μιας αλυσίδας μεταφορών. Παράλληλα συντελούνται σε αυτό και παραγωγικές υπηρεσίες.

Συγκεκριμένα, ένας λιμένας εξυπηρετεί την διακίνηση προϊόντων, με την φορτοεκφόρτωση πλοίων, και την διακίνηση επιβατών. Ως λιμενική περιοχή παρέχει αποθήκες εμπορευμάτων, δεξαμενές καυσίμων και επισκευών πλοίων. Επίσης στα λιμάνια και την ενδοχώρα τους είναι

δυνατή η εγκατάσταση παραγωγής βιομηχανικών πρώτων υλών. (Carbon Footprinting for Ports Guidance Document. WPCI (World Ports Climate Initiative), 2010). Όλα τα παραπάνω, διαμορφώνουν αρνητικές συνέπειες κυρίως στους κατοίκους των πόλεων που εισπνέουν καθημερινά αέρα ο οποίος είναι μολυσμένος με επιβλαβή αέρια και άλλα σωματίδια. Η ατμοσφαιρική ρύπανση των πόλεων και οι επιπτώσεις της στη ποιότητα του αέρα αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα παγκοσμίως. Έτσι, σημαντικά προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης αντιμετωπίζουν σε μεγάλο βαθμό και οι ελληνικές πόλεις. Τα προβλήματα αυτά συνδέονται κυρίως με τις εκπομπές ρύπων από διάφορες πηγές και τη γενικότερη κλιματολογία και τοπογραφία της κάθε περιοχής. Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι κατά κύριο λόγο αποτέλεσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και οφείλεται σε τρεις βασικούς λόγους: μεταφορές, εκπομπές από μόνιμες πηγές και εκπομπές από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι στόχοι ελαχιστοποίησης των αρνητικών αυτών επιπτώσεων είναι σημαντικοί και μάλιστα ιδιαίτερα κατά την φάση του σχεδιασμού νέων έργων και δραστηριοτήτων.

Οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι των ειρηνικών διεθνών εμπορικών συναλλαγών που είναι η ίδια η πηγή ζωής του κόσμου. Είναι ευρέως γνωστές ως οι πιο φιλικές στο περιβάλλον συγκριτικά με άλλα μέσα μεταφοράς. Ωστόσο, διάφορες ερευνητικές μελέτες που επιχείρησαν την εκτίμηση των παγκόσμιων εκπομπών από την ναυτιλία υποδεικνύουν ότι οι εκπομπές αερίων από πλοία είναι ένας σημαντικός παράγοντας ανθρωπογενών εκπομπών. Σύμφωνα με τις τελευταίες έρευνες, μεταξύ 1990 και 2007, οι εκπομπές βασικών ρύπων (NO_x, SO₂, PM) και αερίων θερμοκηπίου προερχόμενων από την παγκόσμια ναυτιλία αυξήθηκαν από 585 σε 1.096 τόνους (Buhaug et al., 2009). Επίσης, σύμφωνα με την έρευνα Psaraftis and Kontovas (2009), εκτιμάται ότι οι εκπομπές CO₂ το έτος 2007 ανήλθαν στους 934,5 εκατομμύρια τόνων, ενώ σύμφωνα με τη αναφορά της TRT (2007) το παγκόσμιο ναυτιλιακό απόθεμα ανήλθε σε περίπου 1 δισεκατομμύριο τόνους.

Παρόλο που οι εκπομπές κατά την διάρκεια ελλιμενισμού αποτελούν ένα μικρό ποσοστό των συνολικών εκπομπών από την ναυτιλία (Whall et al., 2002; Dalsoren et al. 2009), οι λιμένες προσελκύουν θαλάσσια κυκλοφορία και αναπόφευκτα συνιστούν πηγές συγκεντρωμένων εκπομπών ρύπων. Εκτός από το παγκόσμιο αντίκτυπο των εκπεμπόμενων αερίων θερμοκηπίου, ο αστικός χαρακτήρας πολλών λιμένων τονίζει το χωρικό αντίκτυπο των ρύπων των καυσαερίων των πλοίων όπως τα NO_x, τα PM και το SO_x στην υγεία του ανθρώπου και την κατάσταση του δομημένου περιβάλλοντος. Ιδιαίτερη σημασία στην ανθρώπινη υγεία σε περιοχές με λιμένα είναι το γεγονός ότι περίπου το 95% των PM παραγόμενων από πλοία έχει αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 2,5μm (PM_{2,5}) (Whall et al., 2007; Sharma, 2006).

Η ανάγκη ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στους λιμένες αναγνωρίζεται ευρέως ως ένα ενεργό ζήτημα πολιτικής από διάφορες εξουσιοδοτημένες ενώσεις λιμένων (ΙΑΡΗ, 2007; ESPO, 2003). Βασική προϋπόθεση για τον έλεγχο των εκπομπών είναι η ικανότητα μέτρησης ή εκτίμησης εκπομπών και σε αυτό το βαθμό γεννάται η ανάγκη ανάπτυξης ενός συστήματος καταγραφής λεπτομερών και ακριβών τιμών των εκπομπών σε κάθε λιμένα. (ICF, 2006). Χωρίς τη δυνατότητα αντιμετώπισης του λιμένα ως οντότητα, είναι δύσκολο να εκτιμηθούν τα ενδεχόμενα μείωσης των εκπομπών και η ποσοτικοποίηση αυτών με την πάροδο του χρόνου.

Στο μεταξύ, αναπτύσσεται η πολιτική για την ατμοσφαιρική ρύπανση προερχόμενη από την ναυτιλία και επιβάλλονται κανονισμοί για τα όρια των εκπομπών από πλοία. Έχει τεθεί σε ισχύ από την 1η Ιανουαρίου 2010 η ευρωπαϊκή οδηγία για τη θειώδη χρήση καυσίμων στο

λιμάνι (με λιγότερο από 0,1% θείο κατά βάρος). Ακόμη, σύμφωνα με την οδηγία (ΕΕ) 2016/802 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του συμβουλίου της 11ης Μαΐου 2016, τα κράτη μέλη θα πρέπει να ενθαρρύνουν την ηλεκτροδότηση των πλοίων από την ξηρά, δεδομένου ότι η τροφοδότηση τους με ηλεκτρική ενέργεια πραγματοποιείται κατά κανόνα από βοηθητικούς κινητήρες.

Οι έρευνες σχετικά με τις επιπτώσεις των εκπομπών των πλοίων στο περιβάλλον βρίσκονται ακόμη στα αρχικά στάδια καθώς απαιτούνται περισσότερες έρευνες για την παροχή επαρκών και ακριβών δεδομένων όσον αφορά τις επιπτώσεις και την εκτίμηση του εξωτερικού κόστους. Η επίπτωση εμφανίζεται όταν οι κοινωνικές ή οικονομικές δραστηριότητες μίας ομάδας ατόμων έχουν αντίκτυπο σε μία άλλη ομάδα, και όταν αυτό το αντίκτυπο δεν λαμβάνεται πλήρως υπόψη από την αρχική ομάδα. Επομένως, η εκτίμηση των επιπτώσεων είναι πολύ σημαντικό κομμάτι για την ορθή αντιμετώπιση αυτών.

Παρόλο τις ελληνικές έρευνες υπάρχουν και έρευνες που διεξήχθησαν στον εξωτερικό. Μία από αυτές είναι η έρευνα του Andersson *et al.* (2009), στην οποία έρευνα συγκεντρώθηκαν και εξετάστηκαν τα PM που δημιουργούνται λόγω των εκπομπών από την ναυτιλία. Στην έρευνα του Andersson *et al.* (2009) εξετάζεται η συμβολή στην έκθεση του πληθυσμού και επιπτώσεων τους στη θνησιμότητα στην Ευρώπη κατά την περίοδο 1997- 2003. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας ο αριθμός των θανάτων στην Ευρώπη λόγω της έκθεσης των ανθρώπων με τα PM είναι μεγάλος και υπολογίζονται ετησίως στους 301.000 θανάτους.

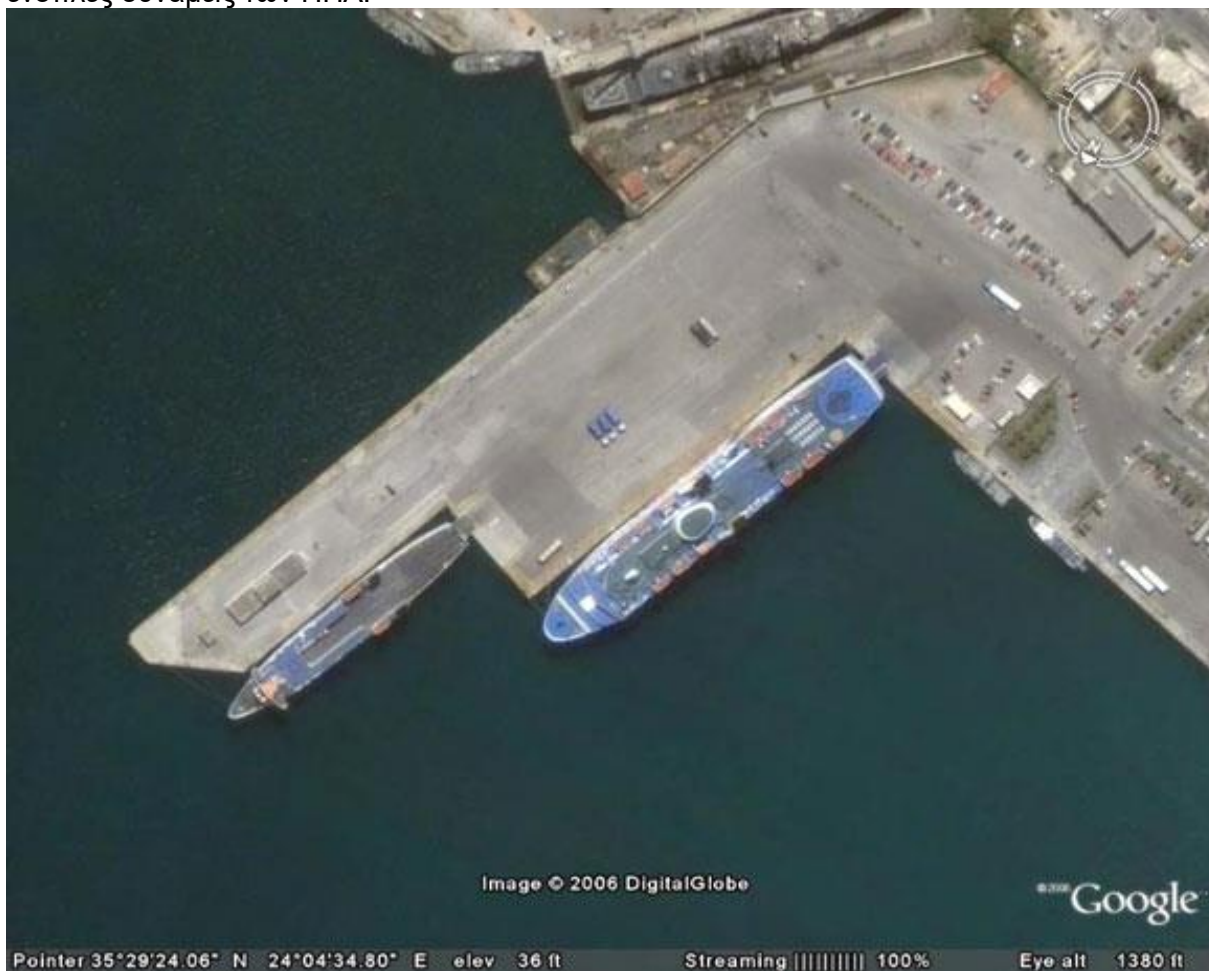
Ένα πλοίο οποιουδήποτε τύπου θα πρέπει να έχει ένα λιμάνι για να εφοδιαστεί και να σταθμεύσει. Κατά την διάρκεια εκείνη το πλοίο βρίσκεται σε συνεχής λειτουργία με τις βοηθητικές μηχανές εν ενεργεία. Πράγμα που σημαίνει ότι καταναλώνει καύσιμο το οποίο παράγει και εξαπολύει αέριους ρύπους όπως είναι το CO₂ και τα PM. Οι αέριοι ρύποι επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα και το περιβάλλον της περιοχής. Μια ακόμα αιτία επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας είναι η διέλευση μεγάλων αριθμών μέσων μεταφορών στον λιμένα και στην περιοχή με σκοπό να επιβιβαστούν ή να αποβιβαστούν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εισπνοή αυτών των αερίων και σωματιδιακών ρύπων από τον άνθρωπο και την διέλευση αυτών στο αναπνευστικό σύστημα. Προκαλώντας έτσι αναπνευστικά προβλήματα όπως είναι το άσθμα.

Πρόσφατες μελέτες που έχουν γίνει σε πλοία αναφέρουν ότι οι εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων ευθύνονται για περίπου 60000 κάρδιο πνευμονοπάθειες και θανάτους από καρκίνο στον πνεύμονα ετησίως με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση των θανάτων κατά μήκος των ακτών. (P. Kasibhatla, V. Eyring, and A. Lauer, "Mortality from Ship Emissions: A Global Assessment," 2007.), (D. Scott, P. Peeters, and S. Gössling, "Can tourism deliver its 'aspirational' greenhouse gas emission reduction targets?," J. Sustain. Tour., vol. 18, no. 3, pp. 393–408, 2010.)

1.2 Περιγραφή λιμένα

Η εργασία αναφέρεται στην ύπαρξη λιμανιού στην περιοχή της Σούδας. Ο υπό μελέτη λιμένας βρίσκεται λοιπόν 300 m από το κέντρο της Σούδας και 6,5km από το κέντρο των Χανίων. Η Σούδα βρίσκεται στην δυτική Κρήτη, ανατολικά της πόλης των Χανίων και νοτίως της χερσονήσου του Ακρωτηρίου. Ακόμη, η Σούδα είναι κωμόπολη της Περιφέρειας Κρήτης και στρατηγικής σημασίας λιμάνι. Είναι επίγειο της πόλης των Χανίων από το 2011. Με βάση την απογραφή του 2011 είχε πληθυσμό 6.418 κατοίκους. Η Σούδα είναι κτισμένη στα νοτιοδυτικά του Κόλπου της Σούδας και πήρε την πολεοδομική της μορφή τα μεταπολεμικά

χρόνια. Το λιμάνι της Σούδας εξυπηρετεί πλοία εσωτερικού, από και προς Πειραιά, καθώς και πλοία εξωτερικού, εμπορικά ή κρουαζιερόπλοια. Στην περιοχή του Κόλπου της Σούδας βρίσκονται επίσης σημαντικές στρατιωτικές εγκαταστάσεις τόσο του ελληνικού Πολεμικού Ναυτικού (Ναύσταθμος Κρήτης), αλλά και του NATO (Βάση Σούδας), που εξυπηρετεί και τις ένοπλες δυνάμεις των ΗΠΑ.



Εικόνα 1: Κάτοψη λιμένα Σούδας. Πηγή: Google maps.

Κεφάλαιο 2°

2.1. Ναυτιλία και ρύπανση

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (World Health Organization- W.H.O) ορίζει την ατμοσφαιρική ρύπανση ως την ύπαρξη στην ατμόσφαιρα ουσιών για μία περίοδο και σε συγκεκριμένη ποσότητα, γεγονός που δημιουργεί επιβλαβής επιδράσεις στους ζωντανούς οργανισμούς όπως είναι για παράδειγμα οι άνθρωποι, τα ζώα, τα φυτά αλλά και οι υλικές κατασκευές. Η Ατμοσφαιρική ρύπανση είναι υπεύθυνη για τη ρύπανση της ατμόσφαιρας, δηλαδή η προσθήκη βλαβερών ουσιών στην ατμόσφαιρα που υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν θα υπήρχαν. Αιτία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι κυρίως οι ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως είναι για παράδειγμα η βιομηχανία και κυρίως οι μεταφορές αλλά και τα νοικοκυριά.

Σημαντικό ποσοστό του ευρωπαϊκού πληθυσμού κατοικεί σε περιοχές, κυρίως σε πόλεις, με υπερβάσεις στα πρότυπα ποιότητας του αέρα, καθώς τόσο το O_3 , το NO_2 αλλά και τα PM εμπεριέχουν σοβαρούς κινδύνους για την υγεία του ανθρώπου. (ΕΟΠ, 2017)

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένα μείγμα φυσικών και ανθρωπογενών ουσιών στον αέρα που αναπνέουμε. Διακρίνεται συνήθως σε δύο κατηγορίες: τη ρύπανση του αέρα στην ύπαιθρο και τη ρύπανση του εσωτερικού αέρα. Η εξωτερική ατμοσφαιρική ρύπανση συνεπάγεται εκθέσεις που πραγματοποιούνται έξω από το δομημένο περιβάλλον. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν: (National Institute of Environmental Health Sciences)

- Τα λεπτά σωματίδια που παράγονται από την καύση ορυκτών καυσίμων (δηλαδή τον άνθρακα και το πετρέλαιο που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ενέργειας)

- Τα επιβλαβή αέρια

- Το όζον του εδάφους

- Καπνός

Η ρύπανση του εσωτερικού αέρα συνεπάγεται έκθεση σε σωματίδια, οξείδια του άνθρακα και άλλους ρύπους που μεταφέρονται από τον εσωτερικό αέρα ή τη σκόνη. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν:

- Αέρια (CO , ραδόνιο, κ.λπ.)

- Οικιακά προϊόντα και χημικά

- Δομικά υλικά (αμίαντος, φορμαλδεΐδη, μόλυβδος κ.λπ.)

- Εξωτερικά εσωτερικά αλλεργιογόνα (κατσαρίδες και ποντίκια, κ.λπ.)

- Καπνός

- Μούχλα και γύρη

Σε ορισμένες περιπτώσεις, η εξωτερική ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να φτάσει σε εσωτερικούς χώρους μέσω ανοιχτών παραθύρων, θυρών, εξαερισμού κ.λπ.

Ο Hans Bruyninckx, εκτελεστικός διευθυντής του ΕΟΠ ενδεικτικά αναφέρει “Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι επιβλαβής για την υγεία μας και τα οικοσυστήματα. Μεγάλο τμήμα του πληθυσμού δεν ζει σε υγιές περιβάλλον, σύμφωνα με τα τρέχοντα πρότυπα. Για μια βιώσιμη πορεία, η Ευρώπη πρέπει να είναι φιλόδοξη και να μην περιορίζεται στις τρέχουσες νομοθετικές ρυθμίσεις.” (ΕΟΠ, 2017)

Σύμφωνα με τον Potters (2002) η ρύπανση μπορεί να προσδιοριστεί ως οποιαδήποτε μορφή μόλυνσης σε ένα οικοσύστημα που επιβαρύνει τους οργανισμούς αυτού του οικοσυστήματος, αλλάζοντας τον ρυθμό ανάπτυξης και την αναπαραγωγή φυτικών ή ζωικών ειδών ή επηρεάζοντας τις ανθρώπινες ανέσεις, την άνεση, την υγεία ή τις τιμές ιδιοκτησίας. Με μια ευρύτερη έννοια, οι όροι μόλυνση και ρύπανση περιλαμβάνουν επίσης οποιαδήποτε φυσική τροποποίηση που μεταβάλλει τη ροή ενέργειας ή ακτινοβολίας σε ένα περιβάλλον (όπως μια πηγή θερμότητας ή ραδιενεργά στοιχεία), ή ακόμη και την παρουσία ενός χωροκατακτητικού είδους.

Ως εκ τούτου, η θαλάσσια ρύπανση, όπως ορίζεται από την ομάδα εμπειρογνομόνων για τις επιστημονικές πτυχές της θαλάσσιας ρύπανσης (GESAMP), ως μέρος του βασικού πλαισίου της σύμβασης των Ηνωμένων Εθνών για το Δίκαιο της Θάλασσας (UNCLOS) 1982 (άρθρο 1.4) είναι:

“Η άμεση ή έμμεση εισαγωγή από τον άνθρωπο ουσιών ή ενέργειας στο θαλάσσιο περιβάλλον (συμπεριλαμβανομένων των εκβολών ποταμών) που έχει ως αποτέλεσμα

επιβλαβείς επιπτώσεις όπως βλάβη στους ζώντες πόρους, κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, παρεμπόδιση των θαλάσσιων δραστηριοτήτων συμπεριλαμβανομένης της αλιείας, εξασθένηση της ποιότητας χρήσης του θαλάσσιου νερού, και τη μείωση των ανέσεων ».

2.2. Ατμοσφαιρικοί ρύποι

Οι κύριοι ρύποι που δημιουργούνται από τη ναυσιπλοΐα είναι αποτέλεσμα της καύσης των καυσίμων σε κινητήρες εσωτερικής καύσης (θαλάσσης). Σχετίζεται με ρύπους (CO, VOC, NO_x και PM) που αφορούν κυρίως την τεχνολογία κινητήρων και τους ρύπους (CO₂, SO_x, βαρέα μέταλλα και PM που δημιουργούνται από θειικά άλατα) τα οποία πηγάζουν από το είδος καυσίμου. Σύμφωνα με τις δραστηριότητες των ανθρώπων εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα ένας μεγάλος αριθμός ρύπων. Βάση της προέλευσης τους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

-Πρωτογενείς ατμοσφαιρικοί ρύποι, στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται οι ρύποι που δημιουργούνται και εισέρχονται στο περιβάλλον άμεσα από τις πηγές τους. Στους πρωτογενούς ατμοσφαιρικούς ρύπους ανήκουν το SO₂, H₂S, οι HC, το NO, το CO, ο Pb, ο αμιάντος, τα PM και ο καπνός. Τα πρωτογενή συστατικά, όπως τα σωματίδια NO₂, CO, NMVOCs και SO₂, ενδέχεται να προκαλέσουν προβλήματα στις παράκτιες περιοχές και στα λιμάνια με βαριά κυκλοφορία λόγω των επιπτώσεών τους στην υψηλή υγεία των ανθρώπων. (OECD, 2008).

-Δευτερογενείς ατμοσφαιρικοί ρύποι, στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται οι ρύποι οι οποίοι σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα ύστερα από έναν συνδυασμό χημικών αντιδράσεων των πρωτογενών ρύπων. Περίτεχνες χημικές αντιδράσεις μεταξύ των NO_x, του οξυγόνου της ατμόσφαιρας και των HC, με την επίδραση του ηλιακού φωτός, έχουν ως συνέπεια τη δημιουργία δευτερογενών ρύπων με χαρακτηριστικό παράδειγμα το O₃, τις διάφορες αλδεΐδες και κετόνες και διάφορα άλλα προϊόντα γνωστά και ως PAN (Νιτρικά Υπεροξυακετύλια) τα περισσότερα από τα οποία είναι τοξικά.

Λόγω της αύξησης του παγκόσμιου εμπορίου οι εκπομπές από την ναυτιλία όλο και αυξάνονται και θα συνεχίσουν να αυξάνονται, γεγονός που συμβάλλει στην ρύπανση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος αλλά και στην μείωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα. Σύμφωνα με έρευνες που διεξήχθησαν, στις ευρωπαϊκές παράκτιες περιοχές, τις περιοχές δηλαδή που επηρεάζονται από την γειτνίαση με τη θάλασσα οι εκπομπές από την ναυσιπλοΐα συμβάλλουν στην αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων, πιο συγκεκριμένα ποσοστό 1-7% προκύπτει για τα επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀, 1-14% των PM_{2,5} και 11% για PM₁₂. (Viana et al., 2014).

2.3. Εκπομπές κινητήρων πλοίων

Οι μεταφορές πλοίων αντιπροσωπεύουν τη συντριπτική πλειοψηφία του παγκοσμίου εμπορίου και αναγνωρίζονται ευρέως ότι είναι φιλικές προς το περιβάλλον συγκριτικά με άλλους τρόπους μεταφοράς. Παρόλα αυτά όμως, διάφορες μελέτες έρευνας που σκοπό είχαν την εκτίμηση των παγκόσμιων εκπομπών από τη ναυτιλία απέδειξαν ότι οι εκπομπές καυσαερίων των πλοίων συμβάλλουν σημαντικά στις παγκόσμιες ανθρωπογενείς εκπομπές. Μάλιστα ήδη από την προηγούμενη δεκαετία, εκπομπές βασικών ρύπων (NO_x, SO₂, PM) και GHG1 (κυρίως CO₂) από την παγκόσμια ναυτιλία αυξήθηκαν από 585 σε 1.096 εκατομμύρια τόνους (Buhaug et al., 2009).

Τα καυσαέρια από τα πλοία εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από τις καμινάδες των πλοίων και αραιώνονται μέσω της επαφής με τον αέρα του περιβάλλοντος. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αραιώσης στο φρεάτιο του πλοίου οι ενεργές χημικές ενώσεις μετασχηματίζονται εν μέρη και εναποτίθενται στο έδαφος και στις επιφάνειες των υδάτων. (Endresen et al., 2003).

Σημαντικοί ρύποι παράγονται από την ναυσιπλοΐα, οι οποίοι ρύποι προέρχονται από την καύση του καυσίμου σε μηχανές εσωτερικής καύσης. Οι εκπομπές καυσαερίων από την ναυσιπλοΐα, η κυρίαρχη μορφή μονάδας ισχύος στον παγκόσμιο στόλο, περιλαμβάνουν σε μεγάλο βαθμό την περίσσεια CO₂ και υδρατμών με μικρότερες ποσότητες CO, οξειδίων του θείου και αζώτου, HC με μερική αντίδραση και μη καύση και σωματιδίων. Οι ρύποι αυτοί σχετίζονται με την τεχνογνωσία του κινητήρα, και οι ρύποι (CO₂, SO_x, βαρέα μέταλλα και θειικά παράγωγα PM) οι οποίοι πηγάζουν από το είδος του καυσίμου. (Έξαρχος, 2013)

Κάθε πλοίο εκπέμπει διαφορετικούς ρύπους και αυτό οφείλεται στα διαφορετικά χαρακτηριστικά του κάθε πλοίου. Οι παράγοντες που συμβάλλουν στις διαφορετικές εκπομπές είναι κυρίως το είδος του πλοίου, ο τύπος της μηχανής, το είδος του καυσίμου, η χρονολογία ναυπήγησής του, η ταχύτητά του, τα δρομολόγια που ακολουθούν κάθε φορά κτλ. (Ζησιμοπούλου, 2011)

Εκπομπές κατά τη λειτουργία των ναυτικών κινητήρων, μπορούν να θεωρηθούν : τα NO_x και SO_x, το CO₂, το CO, άκαυστοι υδρογονάνθρακες HC, σωματίδια(PM particulate material) και πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC πριν την καύση)

2.4. Επιπτώσεις στο περιβάλλον από τις εκπομπές ρύπων

Σχετικά με τους «κλασσικούς» αέριους ρύπους μια σειρά μελετών της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι ιδιαίτερα αποκαλυπτικές ως προς το μέγεθος του προβλήματος. Η αυξητική τους τάση διεθνώς αλλά και στις θάλασσες της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι μετρήσιμη και δύσκολα αναστρέψιμη (υπολογίζεται αύξηση κατά 40% έως 50% για διαφορετικές κατηγορίες ρύπων μεταξύ των ετών 2000 και 2020). Η Επιτροπή μάλιστα υπολογίζει ότι, παρά τις υφιστάμενες διεθνείς (στο πλαίσιο του IMO), αλλά και κοινοτικές κανονιστικές προσπάθειες και πολιτικές, η προερχόμενη από το θαλάσσιο χώρο ατμοσφαιρική ρύπανση θα έχει ισοσκελίσει το έτος 2020 την αντίστοιχη χερσαία ρύπανση εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η οποία μειώνεται σταδιακά τα τελευταία χρόνια. Πρόκειται προφανώς για μια εντυπωσιακή και ανησυχητική διαπίστωση. Η «κλασσική» ατμοσφαιρική ρύπανση είναι περισσότερο ορατή και οχλούσα στα λιμάνια.

Από την άλλη πλευρά, η συμβολή των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προέρχεται από την εμπορική ναυτιλία στο γενικότερο οικολογικό πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής φαίνεται να έχει υποτιμηθεί. Αν και οι σχετικές μελέτες του IMO υπολόγιζαν ότι το ποσοστό εκπομπών ρύπων του θερμοκηπίου από τις θαλάσσιες μεταφορές παγκοσμίως ήταν γύρω στο 2% το έτος 2000, νεότερες μελέτες ανεβάζουν για το έτος 2006 το ποσοστό αυτό στο 4% έως 5% (δηλαδή ποσοστό σχεδόν διπλάσιο από τις ετήσιες εθνικές εκπομπές του Ηνωμένου βασιλείου). Η διαφορά μεταξύ των δυο εκτιμήσεων δεν είναι καθόλου αμελητέα, αν μάλιστα συνυπολογίσει κανείς τη διαρκή αύξηση του παγκόσμιου τονάζ στην εμπορική ναυτιλία, το οποίο υπολογίζεται να επιφέρει αύξηση των εκπομπών ρύπων του θερμοκηπίου κατά 75% (σε σχέση με τα σημερινά ποσοστά) τα επόμενα 15 με 20 χρόνια.

Η ανθρώπινη δραστηριότητα έχει οδηγήσει σε ανησυχία όσον αφορά το μέγεθος της κλιματικής αλλαγής. Στη Διάσκεψη που είχε πραγματοποιηθεί στα Ηνωμένα Έθνη για την Κλιματική Αλλαγή, διαπιστώθηκε ότι 195 χώρες συμφώνησαν σε ένα σχέδιο μείωσης των εκπομπών CO₂ και άλλων αερίων θερμοκηπίου, με στόχο τον περιορισμό της αύξησης της

παγκόσμιας θερμοκρασίας σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα των 2°C, που σημαίνει μια μελλοντική αύξηση της θερμοκρασίας κάτω από 1,4 ° C επειδή η θερμοκρασία είχε ήδη αυξηθεί κατά 0,6 ° C στο τέλος του εικοστού αιώνα).

2.4.1. Φαινόμενο του θερμοκηπίου

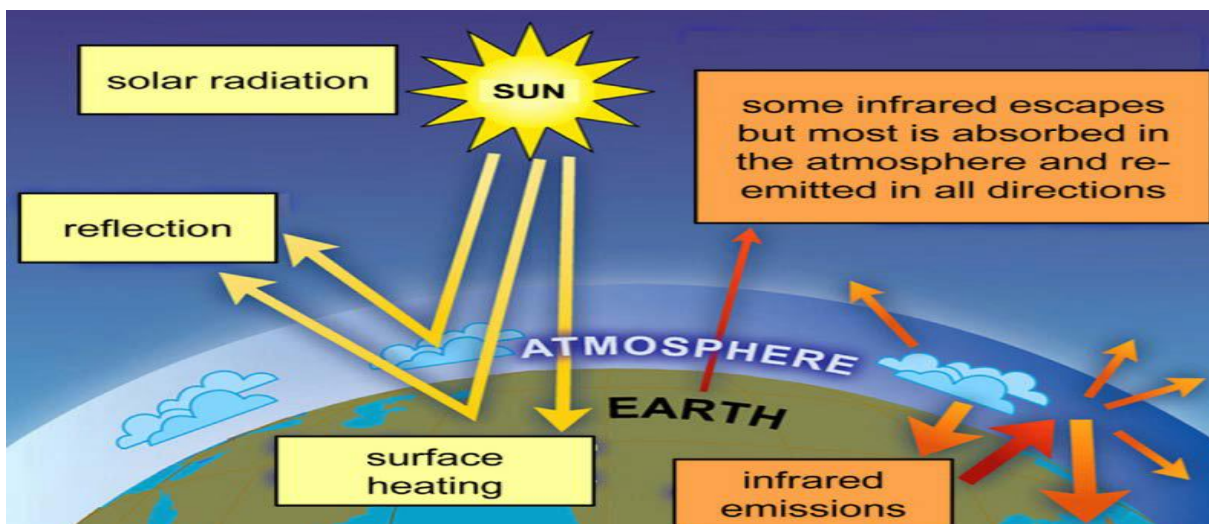
Σύμφωνα με την δεύτερη μελέτη του IMO6 για τα αέρια που επηρεάζουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η διεθνής ναυτιλία όπως φαίνεται και στη παρακάτω Εικόνα 2. εκπέμπει το 2,7% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Το μεγαλύτερο ποσοστό εκπομπών οφείλεται στην παραγωγή ηλεκτρισμού και θέρμανσης (35,0%), έπειτα ακολουθούν οι οδικές μεταφορές (21,3%) και, οι βιομηχανίες παραγωγής και κατασκευής (18,2%). Το μικρότερο ποσοστό διοξειδίου του άνθρακα οφείλεται στις σιδηροδρομικές μεταφορές που εκπέμπουν μόλις το (0,5%), ακολουθεί η διεθνής αεροπορία (1,9%) και η διεθνής ναυτιλία (2,7%) για το 2009.



Εικόνα 2: Συνεισφορά Ναυτιλίας στις παγκόσμιες εκπομπές CO₂. (Πιτσιρίκου Κ., 2013).

Η σύνδεση μεταξύ του CO₂ και της αύξησης της θερμοκρασίας έχει προσελκύσει την προσοχή των επιστημόνων και των πολιτικών, αλλά και το ευρύ κοινό, μέσω του γνωστού «φαινομένου του θερμοκηπίου» (Εικόνα 3). Η ηλιακή ακτινοβολία περνάει σε μεγάλο βαθμό ανεμπόδιστη μέσα από την ατμόσφαιρα, θερμαίνοντας την επιφάνεια της Γης. Με τη σειρά του, η ενέργεια εκπέμπεται εκ νέου ως υπέρυθρο, μεγάλο μέρος της οποίας απορροφάται από το CO₂ και τους ατμούς του νερού στην ατμόσφαιρα, γεγονός που λειτουργεί ως μια κουβέρτα που περιβάλλει τη Γη. Χωρίς αυτό το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, η μέση θερμοκρασία επιφάνειας θα έπεφτε σε περίπου 21°C.

Η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα αυξάνεται κάθε χρόνο κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων, πράγμα που ενισχύει το φυσικό φαινόμενο θερμοκηπίου και θερμαίνει τον πλανήτη. (Andersona, 2016).



Εικόνα 3: Το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το ισοζύγιο ακτινοβολίας μεταξύ της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας (κίτρινα βέλη) και της απορρόφησης της εκπεμπόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας από τη θέρμανση της επιφάνειας οδήγησης της ατμόσφαιρας (πορτοκαλί βέλη). Προσαρμοσμένη από: IPCC, Κλιματική Αλλαγή 2007: Η Βάση Φυσικής Επιστήμης. Συμμετοχή της ομάδας εργασίας I στην τέταρτη έκθεση αξιολόγησης της διακυβερνητικής ομάδας για την κλιματική αλλαγή. (Andersona, 2016).

2.4.2 Όξινη βροχή

Η κυριότερη αιτία σχηματισμού της όξινης βροχής είναι η καύση των ορυκτών καυσίμων. Η βιομηχανία και οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας, χρησιμοποιούν άνθρακα και πετρέλαιο, για να καλύψουν τις ανάγκες μας σε ενέργεια. Οι ιδιώτες χρησιμοποιούν πετρέλαιο, άνθρακα, ξύλα ή φυσικό αέριο για τη θέρμανση των σπιτιών. Αυτοκίνητα, τρένα, αεροπλάνα και πλοία χρησιμοποιούν βενζίνη και άλλα ορυκτά καύσιμα. Σε μικρότερο βαθμό συμβάλλουν και φυσικά αίτια, όπως οι πυρκαγιές, οι εκρήξεις των ηφαιστειών, που εκπέμπουν SO_2 στην ατμόσφαιρα, αλλά και το πλαγκτόν από το οποίο απελευθερώνονται ποσότητες θειούχας ένωσης (διμεθυλοσουλφιδίου) που στην ατμόσφαιρα διασπάται φωτοχημικά και τελικά οξειδώνεται σε SO_2 .

Οι κύριοι ρύποι που δημιουργούν την όξινη βροχή είναι το SO_2 και τα NO_x . Ανεβαίνοντας, λοιπόν, οι ρύποι στην ατμόσφαιρα αντιδρούν με τους υδατμούς της και το νερό της βροχής, και σχηματίζουν αντίστοιχα οξέα, όπως θειικό και νιτρικό. Αυτά τα οξέα μετατρέπουν τη βροχή σε όξινη. Εκτός από το νερό της βροχής επηρεάζονται από τους ρύπους, το χιόνι, η ομίχλη και το χαλάζι, τα οποία όταν πέφτουν στη γη, ρυπαίνουν το έδαφος και τα νερά και επιφέρουν σημαντικές μεταβολές στα οικοσυστήματα.

Μελέτες από τα μέσα της δεκαετίας του '80 οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι μεγάλες συγκεντρώσεις ρύπων που συντελούν στη δημιουργία της όξινης βροχής μεταφέρονται μέσω των αερίων μαζών σε μεγάλες αποστάσεις, μακριά από τον τόπο παραγωγής τους.

Η πιθανότητα να δεχθεί μια περιοχή όξινη βροχή εξαρτάται κυρίως από την προέλευση και την τροχιά των αερίων μαζών που προκαλούν τις βροχές. Τα ρεύματα αέρα που επικρατούν σε ύψη όπου εκπέμπονται τα οξείδια (300-500 μέτρων), βοηθούν στη μεταφορά τους σε απόσταση έως και 1.000 χιλιόμετρα μακριά από τον τόπο παραγωγής τους.

Περιοχές που αντιμετωπίζουν έντονα προβλήματα από την όξινη βροχή, χωρίς οι ίδιες να έχουν σημαντικές εκπομπές οξειδίων θείου και αζώτου, είναι οι σκανδιναβικές χώρες και ο

Καναδάς που γίνονται αποδέκτες της οξύτητας που σχηματίζεται από εκπομπές χωρών της κεντροδυτικής Ευρώπης και των βορειοανατολικών Η.Π.Α. Στην Ευρώπη, η Μ. Βρετανία είναι η χώρα που επηρεάζει τα οικοσυστήματα της βορειοδυτικής Ευρώπης, «εξάγοντάς» τους όξινη βροχή.

2.5.Ανάλυση ρύπων

2.5.1.Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Βάση των ερευνών για τις κύριες επιπτώσεις των δραστηριοτήτων θαλάσσιων μεταφορών στην ποιότητα του αέρα έχει διαπιστωθεί ότι η ναυσιπλοΐα αποτελεί τον κύριο υπεύθυνο για σημαντικό αριθμό συνολικών εκπομπών (CO₂) και ατμοσφαιρικών ρύπων. Επιπλέον, οι τρέχουσες τάσεις δείχνουν ότι η κατάσταση θα επιδεινωθεί στο μέλλον. Πράγματι, οι εκπομπές CO₂ από τις ναυτιλιακές δραστηριότητες εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύουν το 3-5% των συνολικών εκπομπών CO₂ (Apolonia, 2010).

Το CO₂ είναι μία χημική ένωση που αποτελείται από δύο άτομα οξυγόνου ενωμένα με ομοιοπολικό δεσμό με ένα άτομο άνθρακα. Παράγεται από την αποσύνθεση της οργανικής ύλης και την αναπνοή των φυτών και των μικροοργανισμών. Σε συνήθεις συνθήκες, η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι πολύ μικρή. Η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα της γης, λόγω των βιομηχανικών αποβλήτων, της κίνησης των οχημάτων αλλά ακόμη και των δασικών πυρκαγιών, πιστεύεται ότι προκαλεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο γίνεται αντιληπτό με την αύξηση της θερμοκρασίας της γης. Το CO₂ θεωρείται με τους υδρατμούς το κύριο καυσάεριο από την καύση ορυκτών καυσίμων. Είναι μακράν το πιο σημαντικό αέριο θερμοκηπίου από τη ναυτιλία.

Τα πλοία σε ολόκληρο τον κόσμο εκπέμπουν περίπου 1 Gt CO₂ στην ατμόσφαιρα ετησίως, της τάξεως του 2-3% του συνολικού συνόλου. Είναι ένας παράγοντας εκτόνωσης της ακτινοβολίας και έχει το μεγαλύτερο συνολικό αντίκτυπο στην υπερθέρμανση του πλανήτη από όλους τους τύπους ναυτιλιακών εκπομπών. Υπάρχουν δύο πρόσθετοι λόγοι για τους οποίους είναι ο σημαντικότερος τύπος εκπομπής: η μακροζωία του και το γεγονός ότι η παραγωγή του - με την καύση ορυκτών καυσίμων - είναι εκείνη που τροφοδοτεί τα πλοία και ως εκ τούτου αποτελεί τον πυρήνα ολόκληρου του συστήματος.

2.5.2.Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Το διοξείδιο του θείου είναι ένα αέριο άχρωμο, άοσμο σε μικρές συγκεντρώσεις αλλά με έντονη ερεθιστική οσμή σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις. Είναι ένας από τους χαρακτηριστικούς ρύπους που εμφανίζονται σε αστικές περιοχές. Διαλύεται στην υγρασία που περιέχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα και σχηματίζει θειώδες οξύ (H₂SO₃). Στον ξηρό αέρα οξειδώνεται σε τριοξείδιο του θείου (SO₃) το οποίο με τη σειρά του μετατρέπεται τελικά σε θειικό οξύ (H₂SO₄) που είναι κύριο συστατικό της όξινης βροχής.

Προέρχεται κυρίως από τις καύσεις στερεών ή υγρών καυσίμων που περιέχουν θείο. Σημαντικές ανθρωπογενείς πηγές διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα είναι οι διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες, η παραγωγή τσιμέντου, η παραγωγή γύψου, χυτήρια μεταλλεύματος, οχήματα, αγροτικές δραστηριότητες, η διύλιση πετρελαίου και γενικά κάθε βιομηχανική κατεργασία θειούχων ενώσεων. Υπάρχουν και φυσικές πηγές παραγωγής διοξειδίου του θείου, όπως οι πυρκαγιές και η σκόνη από απογυμνωμένο έδαφος.

Το SO₂ παράγεται κατά τις βιομηχανικές δραστηριότητες λόγω των καυσίμων που χρησιμοποιούνται και τα οποία περιέχουν θείο. Το συνολικό ποσό διοξειδίου του θείου που εκλυόταν στην ατμόσφαιρα της Γης το 1980, προερχόταν κατά τα 2/3 από βιο-γεωχημικές

δραστηριότητες (υδρόθειο που παράγεται λόγω σήψης ουσιών και ηφαιστειακής δράσης μεταβάλλεται σε διοξείδιο του θείου) και κατά το 1/3 μόνο από ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

2.5.3.Οξείδια του αζώτου (NO_x)

Με τον όρο οξείδια του αζώτου εννοούνται το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) που εμφανίζονται στον ατμοσφαιρικό αέρα. Το άζωτο ως γνωστό αποτελεί το 78% περίπου του ατμοσφαιρικού αέρα. Κατά την καύση σχηματίζει οξείδια. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία της καύσης, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ποσότητα των σχηματιζόμενων οξειδίων του αζώτου. Προσπάθεια μείωσης των θερμοκρασιών καύσης, οδηγεί σαφώς σε μείωση των παραγόμενων οξειδίων του αζώτου, αλλά μειώνει αισθητά το βαθμό απόδοσης της «μηχανής» καύσης αυξάνοντας έτσι την ενεργειακή κατανάλωση.

Το μονοξείδιο του αζώτου (NO) είναι ένα αέριο άχρωμο και άοσμο. Αντίθετα, το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) έχει έντονη οσμή και ένα κόκκινο, κίτρινο και καστανό χρώμα. Η παρουσία του στην ατμόσφαιρα έχει επιπλέον αποτέλεσμα τη μείωση της φωτεινότητας και συντελεί στη δημιουργία της φωτοχημικής αιθαλομίχλης

Οι κυριότερες πηγές μονοξειδίου του αζώτου (NO) στην ατμόσφαιρα είναι οι μηχανές εσωτερικής καύσης των αυτοκινήτων και των φορτηγών, οι βιομηχανικοί καυστήρες, οι καυστήρες κεντρικής θέρμανσης, οι καυστήρες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και γενικά οι κλίβανοι που καίγονται ορυκτά καύσιμα.

Τα NO_x εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα σε μεγάλες ποσότητες εξαιτίας των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, όπως οι μεταφορές, η κυκλοφορία και η βιομηχανία. Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, το μείγμα των NO_x μαζί με πτητικές οργανικές ενώσεις δημιουργεί στην ατμόσφαιρα φωτοχημική ομίχλη.

2.5.4.Αιωρούμενα σωματίδια (PM)

Ως στερεά αιωρούμενα σωματίδια (Suspended Particulate Matters-SPM) θεωρούνται όλα τα σώματα στερεά και υγρά, εκτός του νερού, που βρίσκονται σε διασπορά στην ατμόσφαιρα και έχουν αεροδυναμική διάμετρο μεγαλύτερη από 0.0002 μm και μικρότερη από 500 μm περίπου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αιωρούμενων σωματιδίων είναι η σκόνη, η ιπτάμενη τέφρα και ο καπνός. Κάποια σωματίδια είναι αρκετά μεγάλα και ορατά με σκούρο χρώμα και γίνονται αντιληπτά ως καπνός. Άλλα είναι τόσο μικρά που δεν είναι ορατά παρά μόνο από ειδικά ηλεκτρονικά μικροσκόπια.

Πολλά σωματίδια φεύγουν προς τον αέρα απευθείας από τις πηγές τους, όπως οι καπνοδόχοι και οι εξατμίσεις των οχημάτων. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου αέρια όπως CO , SO_2 , NO_x και VOCs, αντιδρούν με διάφορες άλλες ενώσεις του ατμοσφαιρικού αέρα και παράγουν έτσι τα λεπτόκοκκα σωματίδια. Γενικά, η φύση και η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων ποικίλλει και εξαρτάται από την τοποθεσία, την εποχή του έτους και τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν. Δεν αποτελούν έναν ενιαίο ρύπο, αλλά μάλλον πρόκειται για ένα μίγμα πολλών ρύπων.

Αρχικά, οι μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων αναφέρονταν στα ολικά αιωρούμενα σωματίδια (Total Suspended Particulate-TSP), χωρίς να γίνεται καμία διαφοροποίηση αυτών ανάλογα με το μέγεθός τους. Το αρχικό μέτρο TSP, με την εξέλιξη της τεχνολογίας αντικαταστάθηκε με το PM₁₀, το οποίο αφορά μόνο αιωρούμενα σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης ή ίσης των 10 μm. Στη συνέχεια προτάθηκε ένας επιπλέον διαχωρισμός στα αιωρούμενα σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου μεταξύ των 2.5 με 10 μm (χονδρόκοκκα σωματίδια) και στα αιωρούμενα σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης των 2.5 μm (λεπτόκοκκα σωματίδια).

Τα λεπτόκοκκα σωματίδια (fine particles) τα οποία και θα ασχοληθούμε στην παρούσα διπλωματική, με αεροδυναμική διάμετρο 10 μm, αποδίδονται στα σχηματιζόμενα από την αέρια φάση σωματίδια, με διαδοχικές συσσωρεύσεις, συμπύκνωση, μεταφορά ή καύση. Ως μέτρο σύγκρισης του μεγέθους τους μπορεί να αναφερθεί ότι μια ανθρώπινη τρίχα έχει διάμετρο της τάξης των 70 μm. Οι κυριότερες πηγές εκπομπής τους είναι τα καυσαέρια των αυτοκινήτων, διάφορες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τζάκια, φούρνοι κλπ. Δημιουργούνται επίσης από αέρια πυρανόφλεξης, τα οποία με τη σειρά τους μετατρέπονται στην ατμόσφαιρα με έναν χημικό τρόπο σε αιωρούμενα σωματίδια.

2.5.5. Νομοθετικά όρια ατμοσφαιρικών ρύπων

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν θεσπιστεί συγκεκριμένα όρια για κάθε ρύπο. Με βάση αυτά τα όρια θα αξιολογήσουμε έπειτα τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης.

Ρύπος	Όριο	Σημειώσεις
CO	10mg/m ³	Η μέγιστη τιμή των 8-ωρων κυλιόμενων μέσων στο διάστημα μιας ημέρας
NO₂	200μg/m ³	Μέγιστη ωριαία τιμή που δεν μπορεί να ξεπεραστεί περισσότερο από 18 φορές τον χρόνο
SO₂	125μg/m ³	Μέση ημερήσια τιμή
PM₁₀	50μg/m ³	Μέση ημερήσια τιμή που δεν πρέπει να ξεπεραστεί περισσότερο από 35 φορές τον χρόνο.
PM_{2,5}	25μg/m ³	Ετήσιος μέσος όρος

Πίνακας 1 :Θεσμοθετημένα όρια εκπομπών (Οδηγία 1999/30,2008/50).

Κεφάλαιο 3^ο

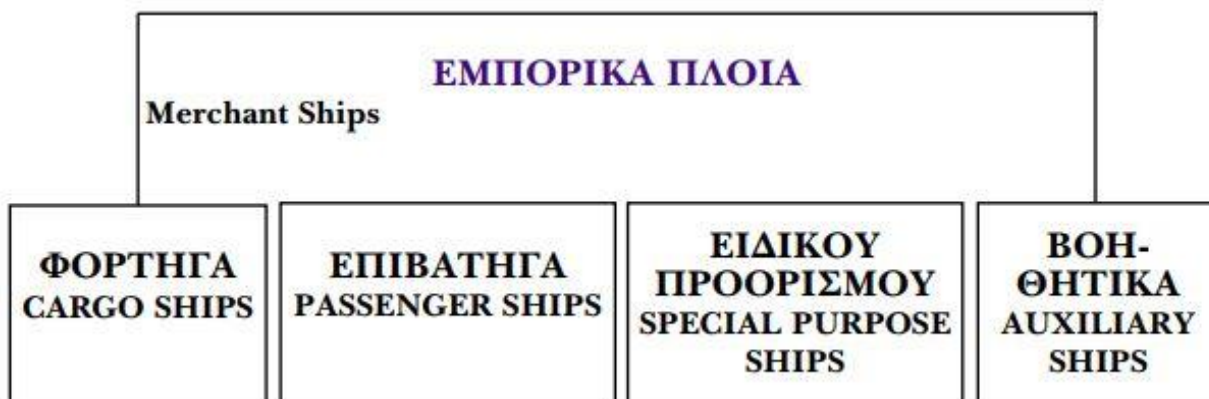
3.1. Περιγραφή και κατηγοριοποίηση πλοίων

Είναι γνωστό σε όλους ότι η μεταφορά των εμπορευμάτων από ένα σημείο της γης σε ένα άλλο γίνεται κυρίως μέσα από την θάλασσα, με κάθε μορφής και μεγέθους πλοία. Αλλά και η μεταφορά ανθρώπων επίσης, κατά μεγάλο μέρος πραγματοποιείται με πλοία.

Οι θαλάσσιες μεταφορές εξελίχθηκαν και αναπτύχθηκαν, στα χρόνια που πέρασαν, ώστε στις μέρες μας να αποτελούν μια γιγαντιαία οικονομική και κοινωνική ανθρώπινη δραστηριότητα. Στην αρχή, γινόταν σε τοπικό επίπεδο για την κάλυψη των εμπορικών αναγκών μιας χώρας. Αργότερα όμως ξεπέρασαν τα συγκεκριμένα γεωγραφικά όρια της χώρας και επεκτάθηκαν σε ευρύτερη περιοχή αρχικά, για να καταλήξουν τελικά στη διεθνή μορφή που διατηρούν ακόμα και σήμερα.

Η μορφή, το μέγεθος και ο ειδικός εξοπλισμός των πλοίων είναι τα κυριότερα «σημεία» πάνω στα οποία εντοπίζονται οι σπουδαιότερες διαχρονικές και μη αλλαγές, αλλά και οι βασικές διαφοροποιήσεις τους. Τα ίδια άλλωστε στοιχεία είναι αυτά που χαρακτηρίζουν τον τύπο ή την κατηγορία του πλοίου, γεγονός που μας δίνει και τη δυνατότητα να κατατάξουμε σε μικρότερες ομοειδείς ομάδες προκειμένου να τα μελετήσουμε καλύτερα.

Συμπερασματικά λοιπόν, θα πούμε ότι διάφοροι πολύ ουσιώδεις λόγοι συντέλεσαν στην δημιουργία διαφόρων τύπων πλοίων, τα οποία μπορούμε να τα κατατάξουμε σε κατηγορίες λαμβάνοντας υπόψη κριτήρια που έχουν σχέση με το υλικό κατασκευής, το είδος και την περιοχή μεταφορών, το μέσο πρόωσης και, κυρίως, το σκοπό και την αποστολή που εξυπηρετούν.



Εικόνα 4: Κατηγορίες πλοίων. (Πηγή: www.pischools.gr Ναυτική τέχνη)

3.2. Μέρη πλοίου

Το κύριο σώμα του πλοίου σκάφος (hull) διακρίνεται σε τρία μέρη: Το μπροστινό καλούμενο πλώρη (fore), το μεσαίο και μεγαλύτερο καλούμενο μέσο (amid) και το πίσω μέρος καλούμενο πρύμνη (aft). Η γραμμή περιφερειακά του πλοίου όπου ακριβώς και η επιφάνεια της θάλασσας, όταν αυτό πλέει ασφαλώς, καλείται ίσαλος γραμμή ή ίσαλος (water line). Όλα τα ορατά μέρη του πλοίου δηλαδή από την ίσαλο και πάνω λέγονται έξαλα (freeboard), σε αντίθεση με τα υπό την ίσαλο μέρη του πλοίου καλούμενα ύφαλα (bottom). Η πλευρική

επιφάνεια των εξάλων προς τη πλώρη που καμπυλώνει (εσωκοίλωμα), καλείται παρειά ή μάσκα (bow) ενώ η αντίστοιχη στη πρύμη λέγεται ισχύο ή γοφός (quarter). "Διαμήκης γραμμή" (central line) λέγεται η νοητή εκείνη που χωρίζει το πλοίο σε δύο ίσα μέρη από πλώρη μέχρι πρύμη, το δεξιό (starboard) και το αριστερό (port) και έτσι νοείται και ο όρος "διαμήκης άξονας". Ναυπηγικά τα δύο αυτά μέρη – πλευρές ενώνονται στο κάτω μέρος την τρόπιδα ή καρένα (keel) η οποία στη μεν πλώρη καταλήγει στη "στείρα" ή "κοράκι" εις δε τη πρύμη στο "ποδόστημα" (stern). Ευκολονόητο ότι η "διαμήκης" ενώνει τα άνω ακραία σημεία της στείρας και του ποδοστήματος. Επ' αυτής της διαμήκους οριζόμενη επιφάνεια καλείται κατάστρωμα ή κουβέρτα (deck) διακρινόμενο σε κατώτατο (lower deck), μέσο (middle deck), κύριο (main deck), και ανώτατο (upper deck) (όχι απαραίτητα όλα σε ένα πλοίο).

Όλες οι κατασκευές από το ανώτατο ή κύριο κατάστρωμα καλούνται "υπερκατασκευές" ή υπερκατασκευάσματα (superstructures). Η υπερκατασκευή στη πλώρη ονομάζεται πρόστεγο ή καμπούνι (forecastle). Η υπερκατασκευή στο μέσον ονομάζεται μεσόστεγο ή γέφυρα (bridge) και εκείνη της πρύμης επίστεγο.

Το εσωτερικό του πλοίου, ανάλογα με το τύπο του, χωρίζεται σε κύθη ή αμπάρια (holds) ή σε δεξαμενές (tanks) για φορτίο, σε δεξαμενές για εφόδια (πχ καύσιμα, νερό, έρμα κλπ), στο μηχανοστάσιο (engine room), στο λεβητοστάσιο (stokehold), στο αντλιοστάσιο (pumps room) μόνο για δεξαμενόπλοια και στα διαμερίσματα του πληρώματος (crew quarters). Επίσης, για λόγους ασφαλείας υπάρχουν οι δεξαμενές "ζυγοστάθμισης" πλώρης (fore-peak tank) και πρύμης (after-peak tank).

Το κατώτατο μέρος του πλοίου εσωτερικά ονομάζεται πυθμήν (πυθμένες) ή γάστρα (bottom) και για λόγους επίσης ασφαλείας τα περισσότερα πλοία είναι "διπύθμενα" (double bottoms) δηλ. με δύο πυθμένες. Στην υπερκατασκευή της "γέφυρας" φέρονται σχεδόν το σύνολο των Ναυτιλιακών οργάνων, το διαμέρισμα του Πλοιάρχου και των Αξιωματικών του πλοίου, οι τραπεζαρίες και η κουζίνα του πλοίου. Τέλος, τα πλοία φέρουν διάφορους "μηχανισμούς" όπως πηδαλιουχίας (steering gear), φορτοεκφορτώσεων (cargo winches), αγκυροβολίας (capstan), σωστικούς, ιστιοφορικούς, πτερύγια κ.ά.



Εικόνα 5: Μέρη ενός κοινού πλοίου.

Στην παρούσα διπλωματική, αναλύονται μόνο τα είδη των πλοίων που στάθμευαν στο λιμάνι της Σούδας και χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης αέριων ρύπων. Αναλύονται δηλαδή μόνο τα επιβατηγά και τα κρουαζιερόπλοια.

3.3. Είδη πλοίων

i. Επιβατηγά πλοία

Είναι τα πλοία που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά κυρίως επιβατών. Παράλληλα έχουν διαμορφωθεί έτσι, ώστε να μπορούν να μεταφέρουν και οχήματα καθώς και μικρές ποσότητες εμπορευμάτων.

Ως Επιβατηγό πλοίο (passenger ship) χαρακτηρίζεται το πλοίο εκείνο που κρίνεται κατάλληλο και ειδικό για μεταφορά 12 επιβατών και άνω. Η καταλληλότητα έχει σχέση με ειδικές απαιτήσεις κατά την ναυπήγηση ή μετασκευή του πλοίου, στη στεγανή υποδιαίρεση αυτού, στο είδος και την επάρκεια σωστικών και πυροσβεστικών μέσων, καθώς και στην ενδιαίτηση επιβατών. Οι παραπάνω απαιτήσεις τροποποιούνται ανάλογα των περιοχών πλόων π.χ. εντός διαύλων, ή ακτοπλοϊκών, ή ωκεανοπλοΐα ή ημερόπλοιων κ.λπ. Η ταχύτητα των σύγχρονων επιβατικών πλοίων κυμαίνεται από 22 μέχρι 30 κόμβους. Γενικά τα επιβατικά πλοία διακρίνονται σε:

- Υπερωκεάνια ή "Ωκεανοπλόα", που εκτελούν υπερπόντια ναυσιπλοΐα (Ωκεανοπλοΐα)

- Επιβατικά Κλειστών θαλασσών όπως τα Μεσογειακά και

- Ακτοπλοϊκά ή κοινώς λεγόμενα "Ποστάλια", που εκτελούν εσωτερικές θαλάσσιες συγκοινωνίες.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5, ένα επιβατηγό πλοίο αποτελείται από την πλώρη και την πρύμνη (μπροστινό και πίσω μέρος του πλοίου), την καπνοδόχος που συνήθως είναι πάνω από μία, το κατάστρωμα, τον έλικα (μηχανή καύσης) και το πηδάλιο. Στα έξαλα του πλοίου βρίσκονται τα σαλόνια και οι καμπίνες.

ii. Κρουαζιερόπλοια

Το κρουαζιερόπλοιο, είναι ειδικής κατηγορίας επιβατηγό πλοίο που πραγματοποιεί κρουαζιέρες (δηλαδή κυκλικά περιηγητικά ταξίδια), βάσει επιμελούς προγράμματος λιμένων προσέγγισης, χωρίς όμως να εκτελούν συγκοινωνιακή γραμμή, ενώ ο ναύλος τους καθορίζεται ελεύθερα, μη υποκείμενος σε ναυολόγιο, που περιλαμβάνει ενδιαίτηση, ξενάγηση, τροφοδοσία και ψυχαγωγία.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6. Ένα κρουαζιερόπλοιο αποτελείται από την πλώρη και την πρύμνη, την καπνοδόχος, το κατάστρωμα, τον έλικα (μηχανή καύσης) και το πηδάλιο. Η δομή του μοιάζει πολύ με το επιβατηγό, η διαφορά είναι ότι συνήθως είναι πολύ μεγαλύτερο σε μήκος αλλά και σε ύψος, διαθέτει περισσότερες καμπίνες και χώρους αναψυχής όπως πισίνα κλπ.



Εικόνα 6: Κρουαζιερόπλοιο. (Πηγή: www.thinkstock.com)

3.4 Περιγραφή μηχανής εσωτερικής καύσης πλοίων

3.4.1. Γενικά

Μηχανή εσωτερικής καύσης ή κινητήρας εσωτερικής καύσης ονομάζεται η κινητήρια θερμική μηχανή στην οποία η καύση του καυσίμου γίνεται στο εσωτερικό σώμα της ίδιας της μηχανής, εξ ου και η ονομασία της, σε αντίθεση με την ατμομηχανή, (όπου η καύση γίνεται εκτός, στο λέβητα). Οι μηχανές αυτές έχει καθιερωθεί ευρύτερα να αναφέρονται με το κεφαλαιογράμματο αρκτικόλεξο MEK. Ως MEK θεωρούνται γενικά οι αερομηχανές, οι βενζινομηχανές, οι πετρελαιομηχανές και οι αεριοστρόβιλοι. Γενικά στις MEK, "εργαζόμενο μέσο", ή "εργαζόμενη ουσία" είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας, ενώ στις ατμομηχανές είναι ο ατμός.

3.4.2 Γενική κατάταξη των MEK

Οι MEK διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- **εμβολοφόρες παλινδρομικές,**
- **περιστροφικές**
- **αεριοστρόβιλους (gas turbines).**

Οι διάφοροι τύποι MEK μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τις μεταξύ τους ομοιότητες. Οι σπουδαιότερες ταξινομήσεις αναφέρονται στην τελική εφαρμογή, στο είδος του καυσίμου και στον τρόπο εισαγωγής του, στην ανάφλεξη, στη χρήση εμβόλων ή περιστροφέα, στη διάταξη

των κυλίνδρων, στους χρόνους λειτουργίας, στο σύστημα ψύξης και τέλος στον τύπο και στη θέση των βαλβίδων.

Οι εμβολοφόρες παλινδρομικές MEK κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

Ανάλογα με τον τρόπο εναύσεως (αναφλέξεως) του καυσίμου διακρίνονται σε: α) Μηχανές εναύσεως με σπινθήρα (ή βενζινομηχανές ή κινητήρες Otto – spark ignition engines), β) Μηχανές εναύσεως με συμπίεση (ή πετρελαιομηχανές ή κινητήρες Diesel – compression ignition engines) και γ) μηχανές Semi-Diesel (hot-bulb engines). Ακόμη, ανάλογα με τον αριθμό των διαδρομών του εμβόλου για την ολοκλήρωση του κύκλου λειτουργίας διακρίνονται σε τετράχρονες (four-stroke engines) και σε δίχρονες μηχανές (two-stroke engines). Επίσης, μπορούμε να χωρίσουμε σε κατηγορίες τις MEK ανάλογα με το είδος του καυσίμου που χρησιμοποιούν σε: α) Μηχανές βαρέος πετρελαίου (μαζούτ), β) Μηχανές ελαφρών καυσίμων (πετρέλαιο ντίζελ - βενζίνη) γ) Μηχανές αερίων καυσίμων δ) Μηχανές πολλαπλών καυσίμων (multi-fuel engines). Ειδική περίπτωση αποτελούν οι μηχανές διπλού καυσίμου (dual-fuel).

Επί προσθέτως με βάση την γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα να μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες: μηχανές αργόστροφες, με ταχύτητα περιστροφής έως 350 rpm περίπου (κύριες μηχανές πλοίων), μεσόστροφες, με ταχύτητα περιστροφής έως 1500 rpm περίπου (μηχανές πλοίων, τρένων και ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη), πολύστροφες, με ταχύτητα περιστροφής μέχρι 5000 rpm περίπου (μηχανές τροχοφόρων) και ταχύστροφες, με ταχύτητα περιστροφής άνω των 5000 rpm (αυτοκίνητα νέας τεχνολογίας, αγωνιστικά αυτοκίνητα, δίτροχα μεγάλου κυβισμού). Και ανάλογα με τον αριθμό των κυλίνδρων σε μονοκύλινδρες και σε πολυκύλινδρες μηχανές. Όπως και ανάλογα με τη διάταξη των κυλίνδρων κατατάσσονται σε κατακόρυφες ή εν σειρά, τύπου (V), (W), (Δ), (H), (X), αντιπιθεμένων κυλίνδρων (οριζόντιες-boxer), σταυροειδείς, αστεροειδείς, πολυγωνικές, διπλών εμβόλων κ.λπ.

Ο τρόπος ψύξεως είναι επίσης διαφορετικός σε κάθε MEK, είτε θα είναι υδρόψυκτες είτε αερόψυκτες μηχανές.

Ακόμη ο τρόπος, η πίεση αλλά και η ποσότητα του αέρα που εισάγεται στον κύλινδρο γίνεται με διαφορετικούς τρόπους και τιμές δηλαδή υπερπληρούμενες (supercharged) και ατμοσφαιρικές μηχανές (φυσικής αναπνοής, atmospheric-induction engines). Επίσης, μια κατηγορία των MEK είναι η χρήση τους, δηλαδή αν θα χρησιμοποιηθούν για οχήματα, για πλοία, για βιομηχανίες ή για αεροσκάφη

Η μέθοδος εισαγωγής του καυσίμου διαφέρει και αυτή από μηχανή σε μηχανή, δηλαδή υπάρχουν μηχανές με εξεριστήρα (carburetor) και μηχανές με αντλία εγχύσεως και εγχυτήρα (injection).

Ακόμη, ανάλογα με την παραγόμενη ισχύ ανά κύλινδρο στις κανονικές στροφές λειτουργίας κατατάσσονται σε μηχανές μικρής ισχύος (μέχρι 20 Ps), μέσης ισχύος (μέχρι 200 Ps) και μεγάλης ισχύος (άνω των 200 Ps) και φυσικά ανάλογα με τον τρόπο αποδόσεως της ισχύος κατατάσσονται σε μηχανές σταθερών στροφών (και μεταβλητού φορτίου) και σε μηχανές μεταβλητών στροφών. Τέλος, το είδος του θαλάμου καύσεως διακρίνεται σε μηχανές με ενιαίο και σε μηχανές με διαιρούμενο θάλαμο καύσεως.

3.4.3 Αρχές λειτουργίας και περιγραφή εμβολοφόρου παλινδρομικής μηχανής εσωτερικής καύσεως

Η αρχή λειτουργίας των εμβολοφόρων παλινδρομικών μηχανών εσωτερικής καύσεως συνίσταται στη μετατροπή της θερμικής ενεργείας, που εκλύεται από την καύση του καύσιμου, μέσα σε κατάλληλα διαμορφωμένο κλειστό χώρο (θάλαμος καύσεως), σε μηχανικό έργο, μέσω κατάλληλων εξαρτημάτων και μηχανισμών . η εκλυόμενη (απελευθερούμενη) θερμική ενεργεία, επειδή πραγματοποιείται μέσα σε κλειστό χώρο, έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση της πίεσεως και της θερμοκρασίας των καυσαερίων.

Η πίεση που αναπτύσσεται, μπορεί να μετατραπεί σε μηχανικό έργο μέσω της ελεγχόμενης μεταβολής του όγκου του θαλάμου καύσεως. Αυτό επιτυγχάνεται με την κίνηση του εμβόλου εντός του κυλίνδρου της μηχανής. Η άνω επιφάνεια του εμβόλου (όταν αυτό βρίσκεται στο ανώτερο σημείο του), τα εσωτερικά τοιχώματα του κυλίνδρου και το πώμα (καπάκι) του κυλίνδρου ορίζουν το θάλαμο καύσεως (επιζήμιος όγκος).

Η ευθύγραμμη παλινδρομική κίνηση του εμβόλου μετατρέπεται σε περιστροφική μέσω κατάλληλου κινηματικού μηχανισμού που αποτελείται από το διωστήρα και το στρόφαλο, ο οποίος αποτελεί τμήμα του στροφαλοφόρου άξονα της μηχανής. Ο διωστήρας συνδέεται στο άνω άκρο του στο εμβολο με κατάλληλο πείρο. Στο κάτω άκρο του συνδέεται με τη βοήθεια κατάλληλου εδράνου στο κόμβο του στροφαλοφόρου άξονα, ο οποίος στηρίζεται και στα δυο άκρα του στα έδρανα βάσεως.

Η περιστροφική κίνηση του στροφάλου και το διπλάσιο της ακτίνας του ορίζουν τις δυο ακραίες θέσεις μετακινήσεως του εμβόλου, οι οποίες ονομάζονται άνω νεκρό σημείο (ΑΝΣ) και κάτω νεκρό σημείο (ΚΝΣ).

Η απόσταση μεταξύ των δυο αυτών σημείων ονομάζεται διαδρομή του εμβόλου.

Ο όγκος του κυλίνδρου που περιέχεται μεταξύ των άνω επιφανειών του εμβόλου στο ΑΝΣ και στο ΚΝΣ ονομάζεται όγκος εμβολισμού και ισούται με το γινόμενο της διαδρομής του εμβόλου επί το εμβαδόν της διατομής του κυλίνδρου. Ο όγκος του κυλίνδρου που περιέχεται μεταξύ της άνω επιφάνειας του εμβόλου στο ΑΝΣ και της κάτω επιφάνειας του πώματος ονομάζεται όγκος θαλάμου καύσεως ή επιζήμιος όγκος .

Το πώμα του κυλίνδρου φέρει κατάλληλους αγωγούς, από τους οποίους εισέρχεται ο αέρας στον κύλινδρο και εξέρχονται τα καυσαέρια. Η ρύθμιση της ροής μέσα από τους αγωγούς πραγματοποιείται με το κατάλληλο άνοιγμα και κλείσιμο των βαλβίδων (valves). Ανάλογα με τη λειτουργία τους διακρίνονται σε βαλβίδες εισαγωγής (intake valves) (του αέρα ή του μείγματος αέρα-καύσιμου) και βαλβίδες εξαγωγής (exhaust valves) των καυσαερίων. Το καύσιμο εισέρχεται στον κύλινδρο, ανάλογα με τον τύπο της μηχανής, είτε μαζί με τον αέρα εισαγωγής, είτε ψεκαζόμενο κατευθείαν εντός του κυλίνδρου μέσω εγχυτήρα (injection valves), είτε ψεκαζόμενα σε προθάλαμο καύσεως.

Το έργο από την εκτόνωση των καυσαερίων παράγεται κατά τη μετακίνηση του εμβόλου από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ. Η μετακίνηση του εμβόλου μεταξύ των νεκρών σημείων, εκτός από τη διαδρομή κατά την εκτόνωση των καυσαερίων, απαιτεί και την κατανάλωση έργου. Το έργο

αυτό παρέχεται από το σφόνδυλο (flywheel), ο οποίος συνδέεται με το στροφαλοφόρο άξονα. Λόγω της μεγάλης μάζας και της περιστροφικής του κινήσεως ο σφόνδυλος αποταμιεύει ενέργεια κατά την εκτόνωση των καυσαερίων, την οποία αποδίδει για τις υπόλοιπες μετακινήσεις του εμβόλου.

Ο κύκλος λειτουργίας της μηχανής περιλαμβάνει τη διαδικασία **εισαγωγής** του ατμοσφαιρικού αέρα (ή του μείγματος αερακαυσίμου) μέσα στον κύλινδρο, **τη συμπίεση** του, **την εισαγωγή του καύσιμου**, τη διαδικασία **της καύσεως**, **την εκτόνωση** των καυσαερίων και τέλος **την εξαγωγή** τους στο περιβάλλον. Οι διεργασίες αυτές, ανάλογα με τον τύπο της μηχανής, πραγματοποιούνται σε δυο ή τέσσερις διαδρομές του εμβόλου (χρόνους), δηλαδή σε μια ή δυο πλήρεις περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα (δίχρονη ή τετράχρονη μηχανή).

Η ρύθμιση της ισχύος και του αριθμού στροφών της μηχανής συναρτάται με την παροχή καύσιμου στον κινητήρα.

3.4.4 Χρήση των πετρελαιοκινητήρων.

Οι πετρελαιοκινητήρες ανάλογα με τη χρήση τους κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

1) **Κινητήρες αυτοκινήτων.**

2) **Κινητήρες βαρέων οχημάτων.**

3) **Κινητήρες τρένων.**

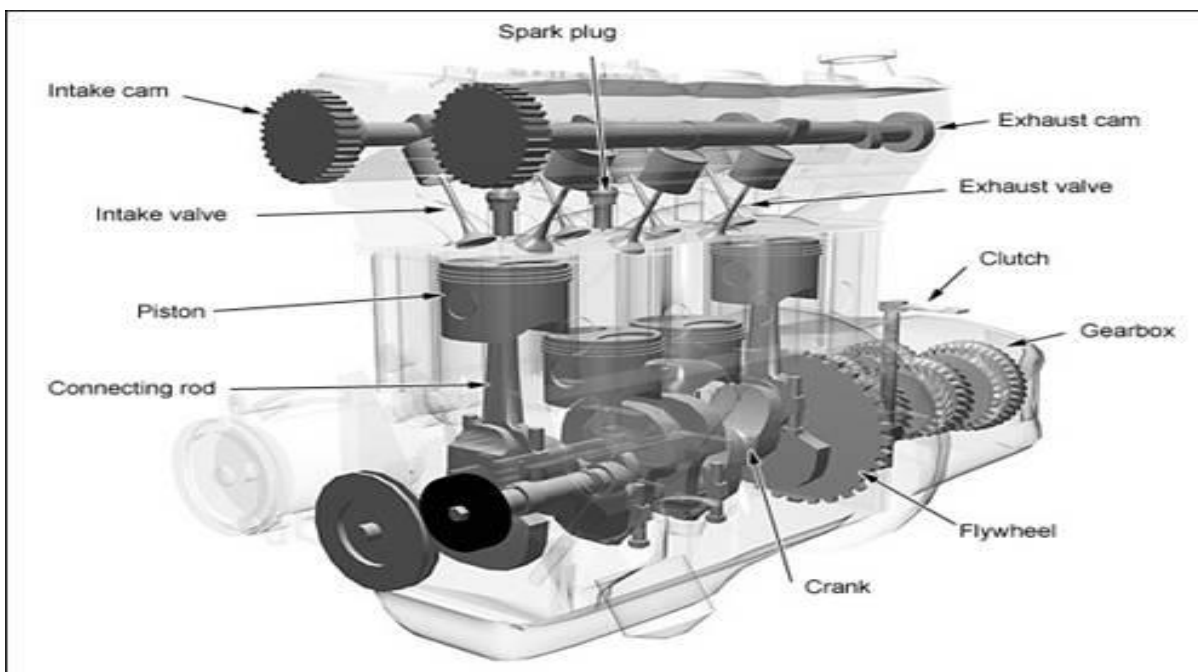
4) **Ναυτικές μηχανές.**

Χρησιμοποιούνται σε όλα τα θαλάσσια μέσα, από τα μικρά σκάφη μέχρι τα πολύ μεγάλης χωρητικότητας εμπορικά πλοία, στα πολεμικά πλοία και τα συμβατικά υποβρύχια. Μπορεί να είναι δίχρονες ή τετράχρονες μηχανές διαφόρων τύπων, σχημάτων, μεγεθών και ισχύος. Σχεδόν στο σύνολό τους οι μηχανές αυτές είναι υπερπληρούμενες.

5) **Πετρελαιοκινητήρες ηλεκτρογεννητριών.**

3.4.5. Χρήση των βενζινοκινητήρων

Ο βενζινοκινητήρας είναι μηχανή εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) στην οποία η ισχύς παράγεται με την καύση του μίγματος βενζίνης και αέρα. Οι περισσότεροι βενζινοκινητήρες ανήκουν στην κατηγορία των παλινδρομικών μηχανών, οι πρόσφατες όμως τεχνολογικές εξελίξεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο τύπος στρεφόμενου εμβόλου ή ο τύπος στροβίλου υπερέχουν λειτουργικά από ορισμένη άποψη. Οι βενζινοκινητήρες είναι οι πιο διαδεδομένες μηχανές εσωτερικής καύσης. Το μέγεθος και η ισχύς τους ποικίλλουν από λιγότερο από έναν ίππο για χρήση σε μικρές φορητές συσκευές, μέχρι 35.000 ίππους για αεροπλάνα. Μολονότι οι περισσότεροι βενζινοκινητήρες χρησιμοποιούνται στα αυτοκίνητα, αντιπροσωπεύουν λιγότερο από το μισό του συνολικού αριθμού που είναι σε χρήση, σε παγκόσμια κλίμακα.



Εικόνα 7: Βενζινοκινητήρας. (Πηγή: Ναυτικές μηχανές maredu.gunet.gr)

Οι βενζινοκινητήρες χρησιμοποιούνται κατ' εξοχήν στην κίνηση επιβατικών οχημάτων και μοτοποδηλάτων, στην πρόωση μικρών ταχυπλόων σκαφών, ελικοφόρων αεροπλάνων, καθώς και στην κίνηση μικρών οικιακών ηλεκτρογεννητριών και γεωργικών μηχανημάτων. Αναλυτικότερα:

1) Μηχανές αυτοκινήτων.

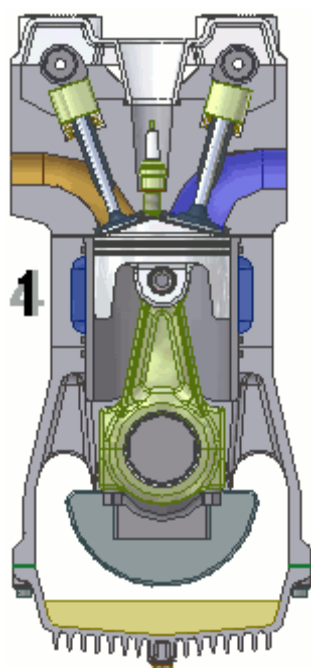
2) Ναυτικές μηχανές.

Οι βενζινοκινητήρες ως ναυτικές μηχανές χρησιμοποιούνται σε ταχύπλοα σκάφη, καθώς επίσης και στα jetski για την κίνηση των αντλιών προώσεώς τους. Είναι συνήθως δίχρονοι και τετράχρονοι μικρού βάρους υδρόψυκτοι κινητήρες με ανοικτό κύκλωμα ψύξεως.

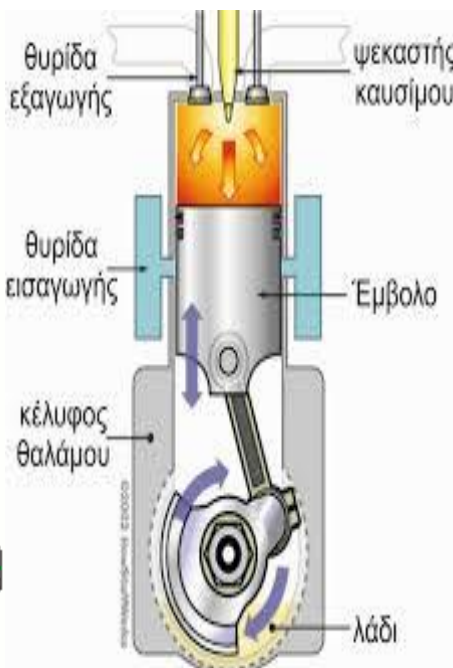
3) Κινητήρες γεωργικών και λοιπών μηχανημάτων.

4) Βενζινοκίνητα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη.

5) Εμβολοφόροι αεροπορικοί κινητήρες.



Εικόνα 8: Εμβολοφόρα μηχανή. (Πηγή: Wikipedia)



Εικόνα 9: Μέρη εμβολοφόρας μηχανής.

Κεφάλαιο 4^ο

4.1. Ποσοτικός υπολογισμός $PM_{2.5}$, NO_x και SO_2

Ένα πλοίο που πρόκειται να αγκυροβολήσει σε ένα λιμάνι και να παραμείνει σε αυτό κάποιο χρονικό διάστημα πριν την απόπλου του, σημαίνει πως για να λειτουργεί το ηλεκτρικό του δίκτυο, και οι διάφοροι μηχανισμοί θα πρέπει να έχει συνεχώς τις βοηθητικές μηχανές σε λειτουργία. Αυτό σημαίνει ότι εκπέμπει αέριους ρύπους ενώ είναι σταθμευμένο καθόλα την διάρκεια της στάθμευσης του. Δυο αιτίες εκπομπών εξετάζονται σε αυτήν την εργασία, οι εκπομπές κατά την διάρκεια της στάθμευσης του πλοίου και οι εκπομπές κατά την διάρκεια των ελιγμών στο λιμάνι της Σούδας.

Αρχικά αντλούμε πληροφορίες από διάφορες ιστοσελίδες για τα πλοία που αγκυροβολούν στο λιμάνι της Σούδας. Όπως είναι η μέγιστη και πραγματική ταχύτητα του πλοίου και η ισχύς του κύριου κινητήρα.

Στην συγκεκριμένη εργασία η εκτίμηση της παραγωγή των ρύπων κατά την διάρκεια του ελλιμενισμού και της παραμονής των πλοίων στο λιμάνι υπολογίζονται με την εφαρμογή των ακόλουθων εκφράσεων: (Τζαννάτος, 2010)

$$EM = TM \times [(ME \times LFME \times EFME) + (AE \times LFAE \times EFAE)] \times 10^{-6} \text{ (A)}$$

&

$$EB = TB \times [(ME \times LFME \times EFME) + (AE \times LFAE \times EFAE)] \times 10^{-6} \text{ (B)}$$

Όπου:

ΕΜ ή ΕΒ: Ισούται με τις Εκπομπές πλοίων κατά τη διάρκεια ελιγμών (manoeuvring) ή κατά την διανυκτέρευση (hoteling), αντιστοίχως (τόνοι).

Τm: Ισούται με τον Χρόνο που δαπανήθηκε κατά τους ελιγμούς (h), σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφία, ο χρόνος που χρειάζεται ένα πλοίο από την στιγμή που εισέρχεται στο λιμάνι μέχρι να αγκυροβολήσει και ο χρόνος που χρειάζεται κατά την έξοδο του είναι γύρω στα 15 λεπτά, (0,25 της ώρας)

Τb: Ισούται με τον Χρόνο που αφιερώνεται στη θέση αγκυροβολίας (h), περιλαμβάνει όλο το διάστημα που το πλοίο έμεινε αγκυροβολημένο και η τροφοδότηση του γινόταν με τη χρήση των βοηθητικών μηχανών, καθώς οι κύριες μηχανές κατά τη διάρκεια ελλιμενισμού παραμένουν σβηστές. Ο χρόνος ελλιμενισμού υπολογίστηκε ως εξής, με την αφαίρεση από την ώρα αναχώρησης της ώρας άφιξης.

ΜΕ: Ισούται με την Κύρια ισχύς κινητήρα (kW), ο συντελεστής αυτός αντλήθηκε από την εταιρεία του marinetraffic

ΑΕ: Ισούται με την Βοηθητική ισχύς κινητήρα (kW), η μέτρηση του συγκεκριμένου συντελεστή προήλθε από το 22% του συνόλου της εγκατεστημένης ισχύος

LFME- M :Ισούται με τον Συντελεστή φορτίου του κύριου κινητήρα σε ελιγμούς και ή στη θέση αγκυροβόλησης, αντίστοιχα. και αποτελεί σταθερά

LF AE- M: Ισούται με τον Συντελεστή φορτίου του βοηθητικού κινητήρα σε ελιγμούς ή στη θέση αγκυροβόλησης, αντίστοιχα. και αποτελεί σταθερά

EFME :Ισούται με τον Συντελεστή εκπομπής κύριου κινητήρα για κάθε εκπεμπόμενο είδος (g kWh - 1).

EF AE: Ισούται με τον Συντελεστή εκπομπής βοηθητικού κινητήρα για κάθε εκπεμπόμενο είδος (g kWh- 1).

Τα παρακάτω πίνακάκια συντελεστή φορτίου και συντελεστή εκπομπών χρησιμοποιήθηκαν για τις σταθερές τιμές της εξίσωσης

Δραστηριότητα	Συντελεστές φορτίου-Καλοκαίρι				Συντελεστές φορτίου- Υπόλοιπου χρόνου			
	Κρουαζιερόπλοια		Επιβατηγά		Κρουαζιερόπλοια		Επιβατηγά	
	Κύριος κινητήρας	Βοηθητικός	Κύριος κινητήρας	Βοηθητικός	Κύριος κινητήρας	Βοηθητικός	Κύριος κινητήρας	Βοηθητικός
Σε ελιγμούς	0,20	0,75	0,20	0,75	0,20	0,60	0,20	0,60
Σε αγκυροβόλιο	0,00	0,60	0,00	0,45	0,00	0,40	0,00	0,30

Πίνακας 2: Συντελεστής φορτίου για τα πλοία στο λιμάνι της Σούδας.

Τύπος κινητήρα/καυσίμου		Συντελεστής εκπομπών (g kWh ⁻¹)		
		NO _x	SO ₂	PM
Κύριος κινητήρας	HSD/MDO	9,6	4,5	0,9
	MSD/LSFO	11,2	6,6	2,4
	GT/MDO	2,9	6,4	0,5
	ST/LSFO	1,7	9,6	2,4
Βοηθητικός κινητήρας	MSD/LSFO	14,7	6,5	0,8
	MSD/MDO	13,9	4,3	0,3
	GT/MDO	5,7	5,8	0,1
	ST/LSFO	2,1	8,7	0,1

*HSD-High speed Diesel, MSD-Medium Speed Diesel, ST- Steam Turbine, GT- Gas Turbine

Πίνακας 3: Συντελεστής εκπομπών για κύρια και βοηθητική μηχανή για δραστηριότητες εντός λιμένα.

4.2. Ισχύς βοηθητικής μηχανής

Επειδή βιβλιογραφικά δεν γνωρίζουμε την ισχύ της βοηθητικής μηχανής χρησιμοποιούμε τον πίνακα 7 για τον υπολογισμό του ποσοστού

Τύπος πλοίου	Μέση κύρια ισχύ (kW)	Μέση βοηθητική μηχανή				Αναλογία βοηθητικής με κύριας
		Αριθμός	Ισχύς (kW)	Συνολική ισχύς (kW)	Ταχύτητα κινητήρα	
Auto Carrier	10700	2,9	983	2850	Μεσαία	0,266
Bulk Carrier	8000	2,9	612	1776	Μεσαία	0,222
Container Ship	30900	3,6	1889	6800	Μεσαία	0,220
Cruise Ship	39600	4,7	2340	11000	Μεσαία	0,278
General Cargo	9300	2,9	612	1776	Μεσαία	0,191
RoRo	11000	2,9	983	2850	Μεσαία	0,259
Reefer	9600	4,0	975	3900	Μεσαία	0,406
Tanker	9400	2,7	735	1985	Μεσαία	0,211

Πίνακας 4: Ποσοστό βοηθητικής μηχανής.

Για να βρεθεί η ισχύς της βοηθητικής μηχανής, χρησιμοποιείται ο πίνακας 4 ανάλογα με τον τύπο του πλοίου, υπολογίζεται έτσι το ποσοστό της βοηθητικής μηχανής.

Για παράδειγμα για κρουαζιερόπλοια το ποσοστό που πρέπει να πολλαπλασιαστεί με την ισχύ της κύριας μηχανής θα είναι:

$$\frac{11000}{(39600+11000)} = 0,22$$

4.3. Ποσοτικά αποτελέσματα εκπεμπόμενων ρύπων σε τόνους

Μετά τους υπολογισμούς καταλήγουμε στα ακόλουθα αποτελέσματα για τους ρύπους $PM_{2,5}$, SO_2 και NO_x για κάθε εποχή. Τα δεδομένα και ο αριθμός για κάθε αναχώρηση των πλοίων στο λιμάνι της Σούδας αντλήθηκαν από τον ιστότοπο marinetraffic.com.

ι. Αποτελέσματα εκπομπών $PM_{2,5}$ για τον χειμώνα.

Winter															
Ονομασία Πλοίου	Κατηγορία πλοίου	Καύσιμο	Μέγιστη ταχύτητα (knots) Propulsion	Πραγματ ική ταχύτητα (kn)Prop ulsion	P(κύριου κινητήρα) (kW)	P(βοηθητ ικού κινητήρα) (kW)	LF (Load factor)Pr opulsion(	LFM (Load factor)Au xiliary(%)	LFB (Load factor)Au xiliary(%)	Tm(h)	Tb(h)	EFME(em mision factor)(g/ kWh) PM	EFAE(em mision factor)(g/ kWh) PM	EmPM	EbPM
F/B ELYROS	Ro-Ro	diesel	24,00	22,40	26186,00	5499,06	0,81	0,75	0,45	0,25	16,00	0,90	0,30	0,01	0,32
BLUE GALAXY	Ro-Ro	diesel	24,00	20,20	26547,00	5574,87	0,60	0,75	0,45	0,25	16,00	0,90	0,30	0,00	0,24
Festos Palace	Ro-Ro	diesel	31,50	24,00	67517,00	14178,57	0,44	0,60	0,30	0,25	19,50	0,90	0,30	0,01	0,55
Mykonos Palace	Ro-Ro	diesel	31,60	21,80	62520,00	13129,20	0,33	0,60	0,30	0,25	19,50	0,90	0,30	0,01	0,38

Πίνακας 5: Αποτελέσματα εκπομπών $PM_{2,5}$ για τον χειμώνα.

ii. Αποτελέσματα εκπομπών PM_{2,5} για την άνοιξη.

Spring															
Ονομασία Πλοίου	Κατηγορία πλοίου	Καύσιμο	Μέγιστη ταχύτητα (knots) Propulsion	Πραγματ ική ταχύτητα (kn)Prop ulsion	Ρ(κύριου κινητήρα) (kW)	P(βοηθητ ικού κινητήρα) (kW)	LF (Load factor)Pr opulsion(	LFM (Load factor)Au xiliary(%) Manoeuv ring	LFB (Load factor)Au xiliary(%) at berth	Tm(h)	Tb(h)	EFME(em ission factor)(g/ kWh) PM	EFAE(em ission factor)(g/ kWh) PM	EmPM	EbPM
F/B ELYROS	Ro-Ro	diesel	24,00	22,40	26186,00	5499,06	0,81	0,60	0,30	0,25	16,00	0,90	0,30	0,01	0,31
BLUE GALAXY	Ro-Ro	diesel	24,00	20,20	26547,00	5574,87	0,60	0,60	0,30	0,25	16,00	0,90	0,30	0,00	0,24
Mykonos Palace	Ro-Ro	diesel	31,60	21,80	62520,00	13129,20	0,33	0,60	0,30	0,25	19,50	0,90	0,30	0,01	0,38
Norwegian Spirit	Cruise ship	diesel	25,50	20,00	58800,00	12936,00	0,48	0,60	0,40	0,25	5,00	0,90	0,30	0,01	0,14
Oceana	Cruise ship	diesel	21,00	8,90	46080,00	10137,60	0,08	0,60	0,40	0,25	10,00	0,90	0,30	0,00	0,04
Mein Schiff 4	Cruise ship	diesel	21,70	12,10	44000,00	9680,00	0,17	0,60	0,40	0,25	10,00	0,90	0,30	0,00	0,08
mv Aegean Odysse	Cruise ship	diesel	16,00	11,80	10300,00	2266,00	0,40	0,60	0,40	0,25	14,00	0,90	0,30	0,00	0,06
Jewel Of The Seas	Cruise ship	gas	25,00	6,80	59000,00	12980,00	0,02	0,60	0,40	0,25	9,00	0,50	0,10	0,00	0,01
Crystal Serenity	Cruise ship	diesel	23,00	19,30	52198,00	11483,56	0,59	0,60	0,40	0,25	10,00	0,90	0,30	0,01	0,29
Silver Shadow	Cruise ship	diesel	20,50	16,50	15700,00	3454,00	0,52	0,60	0,40	0,25	8,00	0,90	0,30	0,00	0,06
NORWEGIAN JADE	Cruise ship	diesel	25,60	21,40	72000,00	15840,00	0,58	0,60	0,40	0,25	5,00	0,90	0,30	0,01	0,20
Celebrity Constellation	Cruise ship	GAs	24,00	14,50	50000,00	11000,00	0,22	0,60	0,40	0,25	10,00	0,50	0,10	0,00	0,06
Marella Explorer	Cruise ship	diesel	21,50	7,30	37130,00	8168,60	0,04	0,60	0,40	0,25	9,00	0,90	0,30	0,00	0,02
Pullmantur Horizon	Cruise ship	diesel	21,40	8,10	19980,00	4395,60	0,05	0,60	0,40	0,25	10,00	0,90	0,30	0,00	0,02
Azamara Pursuit	Cruise ship	diesel	21,00	13,80	13500,00	2970,00	0,28	0,60	0,40	0,25	9,00	0,90	0,30	0,00	0,03
MSC Lirica	Cruise ship	diesel	21,50	17,30	30600,00	6732,00	0,52	0,60	0,40	0,25	10,00	0,90	0,30	0,00	0,15
Marella Discovery	Cruise ship	diesel	24,00	21,90	54300,00	11946,00	0,76	0,60	0,40	0,25	9,00	0,90	0,30	0,01	0,35
Emerald Princess	Cruise ship	diesel	22,50	18,60	62220,00	13688,40	0,56	0,60	0,40	0,25	10,00	0,90	0,30	0,01	0,33

Πίνακας 6: Αποτελέσματα εκπομπών PM_{2,5} για την άνοιξη.

iii. Αποτελέσματα εκπομπών PM_{2,5} για το καλοκαίρι.

Summer															
Ονομασία Πλοίου	Κατηγορία πλοίου	Καύσιμο	Μέγιστη ταχύτητα (knots) Propulsion	Πραγματική ταχύτητα (kn) Propulsion	Ρ(κύριου κινητήρα) (kW)	Ρ(βοηθητικού κινητήρα) (kW)	LF (Load factor) Propulsion (%)	LFM (Load factor) Auxiliary (%) Manoeuvring	LFB (Load factor) Auxiliary (%) at berth	Tm(h)	Tb(h)	EFME(emission factor)(g/kWh) PM	EFME(emission factor)(g/kWh) PM	EFME(emission factor)(g/kWh) PM	EFME(emission factor)(g/kWh) PM
F/B ELYROS	Ro-Ro	diesel	24,00	22,40	26186,00	5499,06	0,81	0,75	0,45	0,25	16,00	0,9	0,30	0,01	0,32
BLUE GALAXY	Ro-Ro	diesel	24,00	20,20	26547,00	5574,87	0,60	0,75	0,45	0,25	16,00	0,9	0,30	0,00	0,24
Festos Palace	Ro-Ro	diesel	31,50	24,00	67517,00	14178,57	0,44	0,75	0,45	0,25	18,50	0,9	0,30	0,01	0,53
H/S/F OLYMPIC CLASS	Ro-Ro	diesel	32,00	24,60	50400,00	10584,00	0,45	0,75	0,45	0,25	16,00	0,9	0,30	0,01	0,35
F/B ΕΛ. BENIZELOU	Ro-Ro	diesel	21,00	16,30	34128,00	7166,88	0,47	0,75	0,45	0,25	16,00	0,9	0,30	0,00	0,25
Pullmantur Horizon	Cruise ship	diesel	21,40	8,10	19980,00	4395,60	0,05	0,75	0,60	0,25	10,00	0,9	0,30	0,00	0,02
NORWEGIAN JADE	Cruise ship	diesel	25,60	21,40	72000,00	15840,00	0,58	0,75	0,60	0,25	5,00	0,9	0,30	0,01	0,20
MSC Lirica	Cruise ship	diesel	21,50	17,30	30600,00	6732,00	0,52	0,75	0,60	0,25	10,00	0,9	0,30	0,00	0,16
Marella Celebrati	Cruise ship	diesel	21,00	14,20	22600,00	4972,00	0,31	0,75	0,60	0,25	9,00	0,9	0,30	0,00	0,06
Oceana	Cruise ship	diesel	21,00	8,90	46080,00	10137,60	0,08	0,75	0,60	0,25	10,00	0,9	0,30	0,00	0,05
Mein Schiff 6	Cruise ship	diesel	21,70	17,30	44000,00	9680,00	0,51	0,75	0,60	0,25	10,00	0,9	0,30	0,01	0,22
Golden Iris	Cruise ship	diesel	21,50	8,10	15447,00	3398,34	0,05	0,75	0,60	0,25	7,00	0,9	0,30	0,00	0,01
Seabourn Odyssey	Cruise ship	diesel	21,00	13,30	23040,00	5068,80	0,25	0,75	0,60	0,25	9,00	0,9	0,30	0,00	0,06
MS Veendam	Cruise ship	diesel	20,90	8,70	34560,00	7603,20	0,07	0,75	0,60	0,25	9,00	0,9	0,30	0,00	0,03
Crystal Esprit	Cruise ship	diesel	16,00	11,30	3356,00	738,32	0,35	0,75	0,60	0,25	13,00	0,9	0,30	0,00	0,02
MS Koningsdam	Cruise ship	diesel	22,20	20,40	50400,00	11088,00	0,78	0,75	0,60	0,25	9,00	0,9	0,30	0,01	0,33
Oceania Riviera	Cruise ship	diesel	21,50	14,20	42000,00	9240,00	0,29	0,75	0,60	0,25	15,00	0,9	0,30	0,00	0,19
Rhapsody of the Seas	Cruise ship	diesel	22,50	15,60	52800,00	11616,00	0,33	0,75	0,60	0,25	10,00	0,9	0,30	0,00	0,18
Mykonos Palace	Ro-Ro	diesel	31,60	21,80	62520,00	13129,20	0,33	0,60	0,30	0,25	19,50	0,9	0,30	0,01	0,38

Πίνακας 7: Αποτελέσματα εκπομπών PM_{2,5} για το καλοκαίρι.

iv. Αποτελέσματα εκπομπών PM_{2,5} για το φθινόπωρο.

Autumn															
Όνομασία Πλοίου	Κατηγορία πλοίου	Καύσιμο	Μέγιστη ταχύτητα (knots) Propulsion	Πραγματ ική ταχύτητα (kn)Prop ulsion	Ρ(κύριου κινητήρα) (kW)	Ρ(βοηθητ κού κινητήρα) (kW)	LF (Load factor)Pr opulsion(	LFM (Load factor)Au xiliary(%)	LFB (Load factor)Au xiliary(%)	Tm(h)	Tb(h)	EFME(em mision factor)(g/ kWh) PM	EFAE(em mision factor)(g/ kWh) PM	EmPM	EbPM
MSC Lirica	Cruise ship	diesel	21,50	17,30	30600,00	6732,00	0,52	0,60	0,40	0,25	10,00	0,90	0,30	0,00	0,15
NORWEGIAN JAD	Cruise ship	diesel	25,60	21,40	72000,00	15840,00	0,58	0,60	0,40	0,25	5,00	0,90	0,30	0,01	0,20
Emerald Princess	Cruise ship	diesel	22,50	18,60	62220,00	13688,40	0,56	0,60	0,40	0,25	10,00	0,90	0,30	0,01	0,33
Pullmantur Horiz	Cruise ship	diesel	21,40	8,10	19980,00	4395,60	0,05	0,60	0,40	0,25	10,00	0,90	0,30	0,00	0,02
Oceana	Cruise ship	diesel	21,00	8,90	46080,00	10137,60	0,08	0,60	0,40	0,25	10,00	0,90	0,30	0,00	0,04
Azamara Pursuit	Cruise ship	diesel	21,00	13,80	13500,00	2970,00	0,28	0,60	0,40	0,25	9,00	0,90	0,30	0,00	0,03
Jewel Of The Sea	Cruise ship	gas	25,00	6,80	59000,00	12980,00	0,02	0,60	0,40	0,25	9,00	0,50	0,10	0,00	0,01
Marella Discovery	Cruise ship	diesel	24,00	21,90	54300,00	11946,00	0,76	0,60	0,40	0,25	9,00	0,90	0,30	0,01	0,35
Marella Celebrati	Cruise ship	diesel	21,00	14,20	22600,00	4972,00	0,31	0,60	0,40	0,25	9,00	0,90	0,30	0,00	0,06
Mein Schiff 6	Cruise ship	diesel	21,70	17,30	44000,00	9680,00	0,51	0,60	0,40	0,25	10,00	0,90	0,30	0,01	0,21
Celebrity Infinity	Cruise ship	gas	24,00	14,20	50000,00	11000,00	0,21	0,60	0,40	0,25	10,00	0,50	0,10	0,00	0,06
Crystal Esprit	Cruise ship	diesel	16,00	11,30	3356,00	738,32	0,35	0,60	0,40	0,25	13,00	0,90	0,30	0,00	0,01
Marella Explorer	Cruise ship	diesel	21,50	7,30	37130,00	8168,60	0,04	0,60	0,40	0,25	9,00	0,90	0,30	0,00	0,02
Golden Iris	Cruise ship	diesel	21,50	8,10	15447,00	3398,34	0,05	0,60	0,40	0,25	7,00	0,90	0,30	0,00	0,01
Norwegian Spirit	Cruise ship	diesel	25,50	20,00	58800,00	12936,00	0,48	0,60	0,40	0,25	5,00	0,90	0,30	0,01	0,14
MS Koningsdam	Cruise ship	diesel	22,20	20,40	50400,00	11088,00	0,78	0,60	0,40	0,25	9,00	0,90	0,30	0,01	0,33
Crystal Serenity	Cruise ship	diesel	23,00	17,70	52198,00	11483,56	0,46	0,60	0,40	0,25	9,00	0,90	0,30	0,01	0,21
Msc Orchestra	Cruise ship	diesel	20,00	18,60	58000,00	12760,00	0,80	0,60	0,40	0,25	6,00	0,90	0,30	0,01	0,26
Azamara Journey	Cruise ship	diesel	21,00	16,40	13500,00	2970,00	0,48	0,60	0,40	0,25	14,00	0,90	0,30	0,00	0,09
MS Rotterdam	Cruise ship	diesel	25,00	15,60	57600,00	12672,00	0,24	0,60	0,40	0,25	9,00	0,90	0,30	0,00	0,13
F/B ELYROS	Ro-Ro	diesel	24,00	22,40	26186,00	5499,06	0,81	0,75	0,45	0,25	16,00	0,90	0,30	0,01	0,32
BLUE GALAXY	Ro-Ro	diesel	24,00	20,20	26547,00	5574,87	0,60	0,75	0,45	0,25	16,00	0,90	0,30	0,00	0,24

Πίνακας 8: Αποτελέσματα εκπομπών PM_{2,5} για το φθινόπωρο.

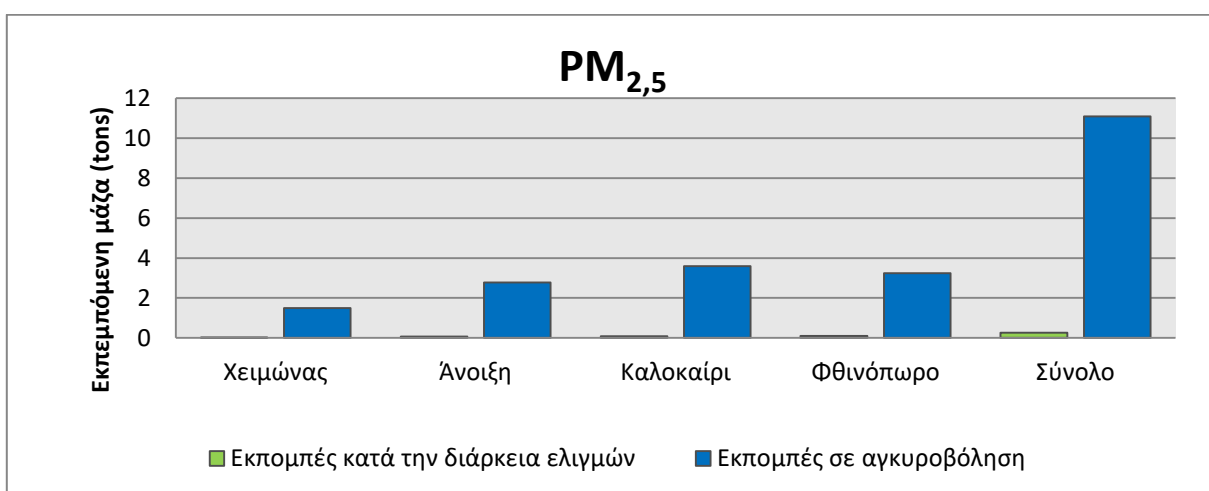
Προσθέτοντας για κάθε πλοίο όλες τις εκπομπές κατά την διάρκεια του ελλιμενισμού και κατά την διάρκεια των ελιγμών, προκύπτουν οι παρακάτω τιμές και το παρακάτω διάγραμμα

4.3.1. Αποτελέσματα PM_{2,5} σε τόνους

Μετά την επεξεργασία και τον υπολογισμό παρουσιάζονται τα ακόλουθα αποτελέσματα σε τόνους και το αντίστοιχο διάγραμμα.

Εποχές	PM _{2,5} Ελιγ.	PM _{2,5} Αγκυρ.
Χειμώνας	0,02	1,49
Άνοιξη	0,07	2,77
Καλοκαίρι	0,08	3,60
Φθινόπωρο	0,10	3,24
Σύνολο	0,27	11,10

Πίνακας 9: Συνολικά αποτελέσματα PM_{2,5}.



Διάγραμμα 1: Εκπεμπόμενη μάζα PM_{2,5} ανά εποχή και συνολική ποσότητα.

Παρατηρείται ότι οι εκπομπές του ελλιμενισμού (αγκυροβολίου με τις βοηθητικές μηχανές σε λειτουργία) είναι πολύ περισσότερες από τις εκπομπές ελιγμών. Επίσης παρατηρείται πως τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω τουριστικής περιόδου και περισσότερων δρομολογίων από και προς τον λιμένα της Σούδας, υπάρχει αυξημένη ποσότητα αιωρούμενων σωματιδίων.

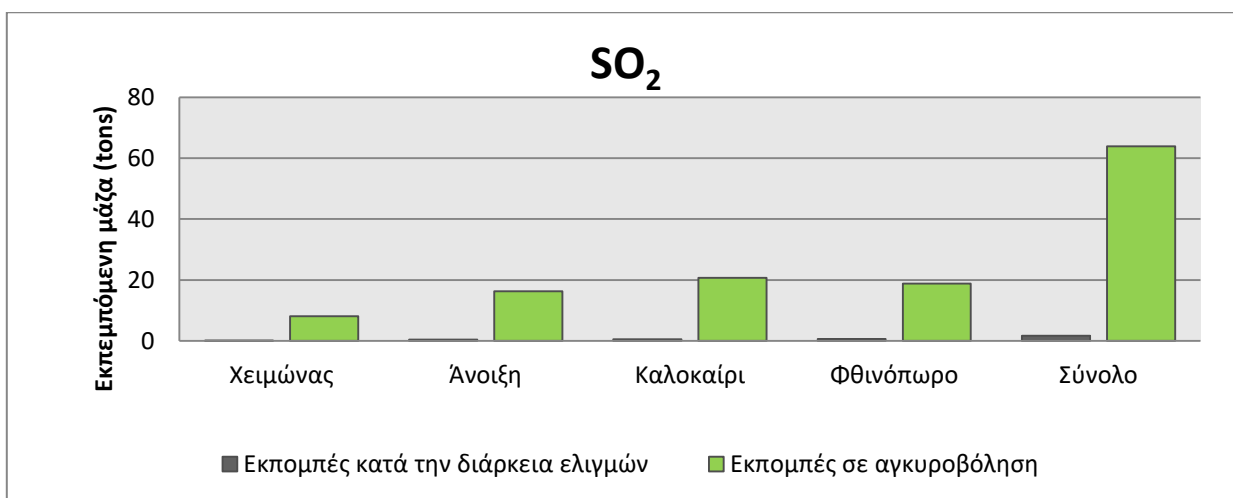
Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται η εκπεμπόμενη μάζα των NO_x και SO₂.

4.3.2. Αποτελέσματα SO₂ σε τόνους

Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία και για τα SO₂.

Εποχές	SO ₂ Ελιγ•	SO ₂ Αγκυρ•
Χειμώνας	0,12	8,12
Άνοιξη	0,45	16,27
Καλοκαίρι	0,46	20,68
Φθινόπωρο	0,60	18,83
Σύνολο	1,63	63,90

Πίνακας 10: Συνολικά αποτελέσματα SO₂.



Διάγραμμα 2: Εκπεμπόμενη μάζα SO₂ ανά εποχή και συνολική ποσότητα.

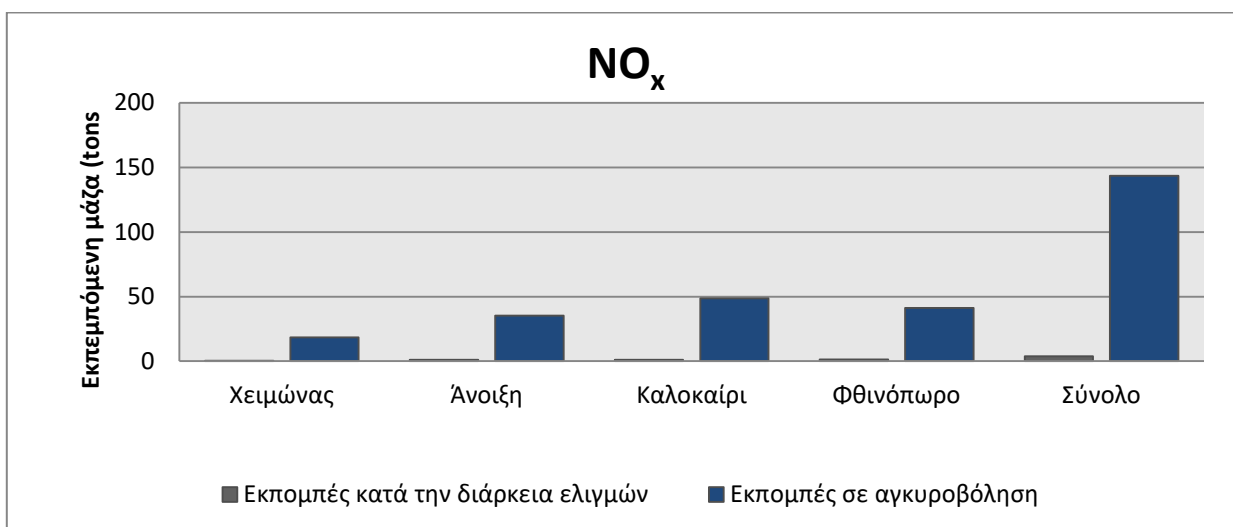
Παρατηρείται ότι οι εκπομπές του ελλιμενισμού (αγκυροβολίου με τις βοηθητικές μηχανές σε λειτουργία) είναι πολύ περισσότερες από τις εκπομπές ελιγμών. Επίσης παρατηρείται πως τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω τουριστικής περιόδου και περισσότερων δρομολογίων από και προς τον λιμένα της Σούδας, υπάρχει αυξημένη ποσότητα διοξειδίου του θείου.

4.3.3. Αποτελέσματα NO_x σε τόνους

Ομοίως και για τα NO_x, δημιουργώντας ένα διάγραμμα εκπεμπόμενης μάζας σε ελλιμενισμό και κατά την διάρκεια αγκυροβόλησης.

Εποχές	NO _x Ελιγ.	NO _x Αγκυρ.
Χειμώνας	0,30	18,46
Άνοιξη	0,99	35,25
Καλοκαίρι	1,12	48,68
Φθινόπωρο	1,35	41,22
Σύνολο	3,75	143,61

Πίνακας 11: Συνολικά αποτελέσματα NO_x.



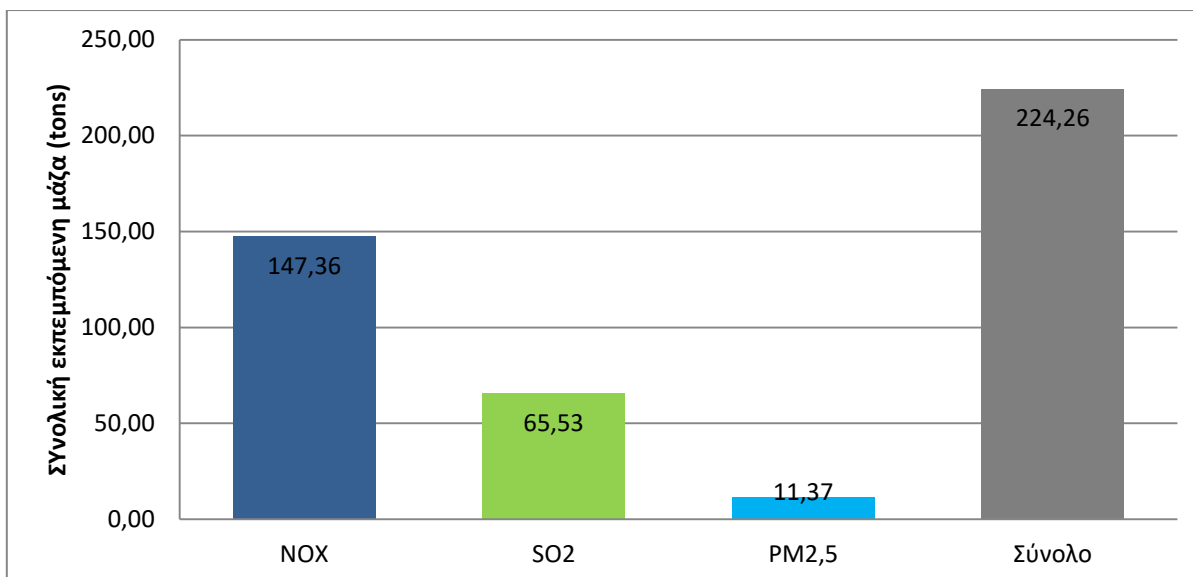
Διάγραμμα 3: Εκπεμπόμενη μάζα NO_x ανά εποχή και συνολική ποσότητα.

Παρατηρείται ότι οι εκπομπές του ελλιμενισμού (αγκυροβολίου με τις βοηθητικές μηχανές σε λειτουργία) είναι πολύ περισσότερες από τις εκπομπές ελιγμών. Επίσης παρατηρείται πως τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω τουριστικής περιόδου και περισσότερων δρομολογίων από και προς τον λιμένα της Σούδας, υπάρχει αυξημένη ποσότητα οξειδίων του αζώτου.

Τέλος μετά από απλή πρόσθεση της μάζας ελιγμών και αγκυροβόλησης ξεχωριστά για τον κάθε ρύπο δημιουργείται το παρακάτω διάγραμμα

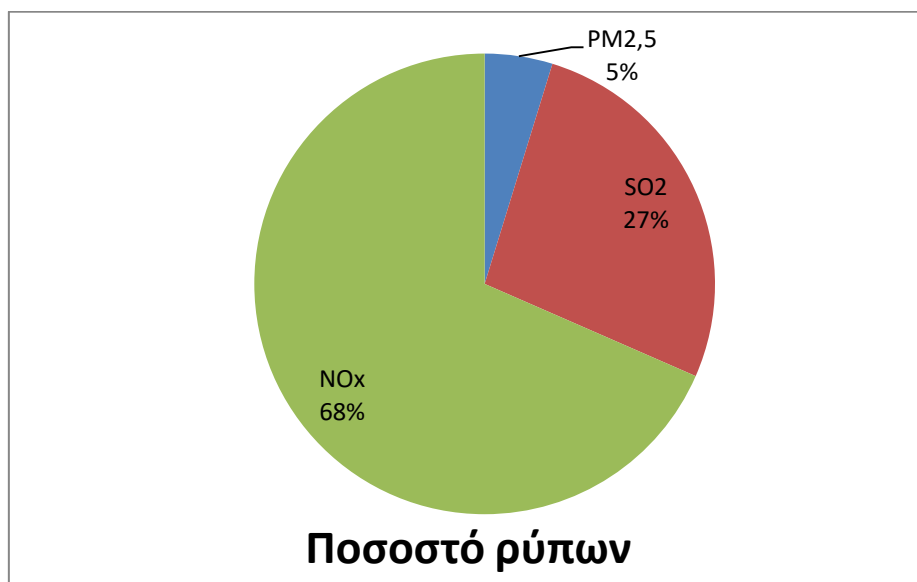
Ρύπος	Μάζα (tn)
NOX	147,36
SO2	65,53
PM_{2,5}	11,37
Σύνολο	224,26

Πίνακας 12: Συνολικά ποσοτικά αποτελέσματα των ρύπων



Διάγραμμα 4: Συνολική εκπεμπόμενη μάζα ανά ρύπο.

Παρατηρείται μεγάλη διαφορά εκπεμπόμενης μάζας μεταξύ οξειδίων του αζώτου, διοξειδίου του θείου με την εκπεμπόμενη μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων.



Διάγραμμα 5: Ποσοστό ρύπων.

Όπως και στο παραπάνω διάγραμμα 4, έτσι και εδώ μπορούμε να διακρίνουμε ότι το ποσοστό των NO_x είναι πολύ μεγαλύτερο από τους άλλους δυο ρύπους. Τα NO_x εμπεριέχουν και τα νιτρικά ιόντα (NO₃), συστατικά των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ και PM_{2,5}.

Κεφάλαιο 5°

5.1. Περιγραφή του μοντέλου ISC3

Το μοντέλο διασποράς της Αμερικανικής Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος (ISC3) είναι δημοφιλές για την απλότητα του και για το μικρό όγκο δεδομένων εισαγωγής, το μοντέλο αυτό χρησιμοποιεί, μιας σταθερής κατάστασης, εξίσωση θυσάνου του Gauss (EPA,1995) Επίσης, προσφέρεται δωρεάν από την Αμερικανική υπηρεσία προστασίας του περιβάλλοντος. Αρκετές μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει το μοντέλο ISC3 (Kumar κ.ά., 1999; Hanna κ.ά., 2001; Silverman κ.ά., 2007; Faulkner κ.ά., 2008). Το μοντέλο ISC3 έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει πολλαπλών τύπων πηγές όπως, σημειακές, επιφανειακές, όγκου και ανοιχτού φρέατος, σε αντίθεση με άλλα μοντέλα (π.χ. μοντέλο RAM) τα οποία χρησιμοποιούν μόνο σημειακές ή επιφανειακές πηγές. Το μοντέλο ISC3 είναι ευέλικτο στην κατασκευή πολικών και καρτεσιανών αποδεκτών παρέχοντας στο χρήστη τη δυνατότητα να προσδιορίσει πολλαπλούς αποδέκτες σε μία μόνο εφαρμογή και να συνδυάσει πολιτικούς και καρτεσιανούς αποδέκτες στην ίδια πάντα εφαρμογή. Η δυνατότητα αυτή είναι χρήσιμη στις εφαρμογές εκείνες που χρειάζεται ένα αραιό πλέγμα για όλη την περιοχή προσομοίωσης και ένα πιο πυκνό πλέγμα σε μια συγκεκριμένη περιοχή όπου αναμένονται μέγιστες τιμές συγκεντρώσεων ρύπων. Επίσης, το μοντέλο ISC3 είναι πιο χρήσιμο για την ανάλυση μικρής εμβέλειας μεταφοράς ρύπων (εντός 20 χιλιομέτρων) από την πηγή (Silverman κ.ά., 2007). Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του μοντέλου ISC3 σε σύγκριση με άλλα μοντέλα διασποράς (π.χ. AERMOD και ADMS) είναι η ευκολία στη χρήση του και η γρήγορη απόκριση του (Hanna κ.ά., 2001). Επιπλέον, μικρός όγκο μετεωρολογικών δεδομένων εισόδου απαιτούνται από το μοντέλο ISC3 σε σύγκριση με άλλα μοντέλα διασποράς (π.χ. AERMOD) (Hanna κ.ά., 2001).

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται ανάλυση της εφαρμογής του μοντέλου Industrial Source Complex (ISC3) το οποίο χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων αέριων εκπομπών που εκλύονται από την στάθμευση πλοίων στον λιμένα της Σούδας και δημιουργήθηκε από την Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (U.S.EPA). Το συγκεκριμένο μοντέλο εφαρμόζεται βραχυπρόθεσμα σε διάστημα ενός χρόνου. (Industrial Source Complex Short Term)

Το μοντέλο ISC3 στηρίζεται στην εξίσωση του Gauss σταθερής κατάστασης.

Οι πηγές εκπομπών κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις τύπους:

- Σημειακές
- Όγκου (επιφανειακές και υπερυψωμένες πηγές)
- Εμβαδικές
- Ανοιχτές πηγές τύπου σωλήνα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο ISC Short Term (βραχυπρόθεσμο), δηλαδή για διάρκεια ενός χρόνου. Το συγκεκριμένο μοντέλο χρησιμοποιεί την Γκαουσιανή εξίσωση για σταθερές συνθήκες για μία πηγή συνεχούς ροής, για κάθε πηγή και κάθε ώρα.

Για ένα Γκαουσιανό πλούμιο , οι ωριαίες συγκεντρώσεις υπολογίζονται με τη ακόλουθη εξίσωση:

$$P' = \frac{Q \cdot K \cdot V \cdot D}{2B \cdot U_s \cdot F_y \cdot F_z} \exp \left[0,5 \left(\frac{y}{F_y} \right)^2 \right]$$

Όπου:

Q: ρυθμός εκπομπής ρύπων

K: συντελεστής κλίμακας για την μετατροπή των συγκεντρώσεων στις επιθυμητές μονάδες προεπιλεγμένη τιμή 1×10^6 για Q σε g/s και συγκέντρωση σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

V: η κάθετη κατανομή του ρύπου

D: όρος αποσύνθεσης ρύπου

F_y, F_x : τυπική απόκλιση οριζόντιας και κάθετης κατανομής της συγκέντρωσης (m)

U_s : ταχύτητα ανέμου (m/s) στο ύψος απελευθέρωσης

Για την εκτέλεση του μοντέλου απαιτούνται δύο αρχεία εισαγωγής δεδομένων το Deptest.INP, και το Deptest.MET.

Αρχικά δημιουργείται το μετεωρολογικό αρχείο το οποίο αποτελείται από ωριαίες μετεωρολογικές παραμέτρους από το μετεωρολογικό σταθμό του Πολυτεχνείου. Το αρχείο εισάγεται στο αρχείο Deptest.Met και περιλαμβάνει τα εξής: έτος, μήνας, ημέρα, ώρα, διεύθυνση ανέμου, ταχύτητα ανέμου, θερμοκρασία, κλάση ευστάθειας, ύψος ανάμιξης.

Συγκεκριμένα το πώς ακριβώς εισάγονται τα παραπάνω δεδομένα φαίνεται στις εικόνες που ακολουθούν.

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ ΓΙΑ ISC3-ST

3928	87	13996	87
------	----	-------	----

87	1	1	1	247.5000	6.3000	289.1	4	670.2	670.2
----	---	---	---	----------	--------	-------	---	-------	-------

87	1	1	2	225.0000	6.1667	288.9	4	656.3	656.3
----	---	---	---	----------	--------	-------	---	-------	-------

87	1	1	3	266.3000	6.7667	289.3	4	720.2	720.2
----	---	---	---	----------	--------	-------	---	-------	-------

87	1	1	4	270.0000	6.9667	289.0	4	741.4	741.4
----	---	---	---	----------	--------	-------	---	-------	-------

87	1	1	5	270.0000	6.9000	288.8	4	734.0	734.0
----	---	---	---	----------	--------	-------	---	-------	-------

87	1	1	6	270.0000	6.3667	288.8	4	677.6	677.6
----	---	---	---	----------	--------	-------	---	-------	-------

87	1	1	7	270.0000	6.6333	288.5	4	705.3	705.3
----	---	---	---	----------	--------	-------	---	-------	-------

87	1	1	8	266.3000	6.5000	288.1	4	691.4	691.4
----	---	---	---	----------	--------	-------	---	-------	-------

87	1	1	9	270.0000	6.7667	289.7	4	720.2	720.2
----	---	---	---	----------	--------	-------	---	-------	-------

Σχόλιο [U1]: ΟΙ ΚΩΔΙΚΟΙ ΤΟΥ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΡΧΕΙΟΥ

Σχόλιο [U2]: Έτος

Σχόλιο [U3]: Μήνας

Σχόλιο [U4]: Ημέρα

Σχόλιο [U5]: Ωρα

Σχόλιο [U6]: FLOW VECTOR. Για παράδειγμα εάν η διεύθυνση άνεμου είναι 90 η flow vector είναι 270.

Σχόλιο [U7]: Ταχύτητα άνεμου σε m/s.

Σχόλιο [U8]: Θερμοκρασία σε Kelvin.

Σχόλιο [U9]: Κλάση ευστάθειας

Σχόλιο [U10]: Ύψος ανάμικτης αγροτικής και αστικής

Εικόνα 10: Εισαγωγή δεδομένων στο μετεωρολογικό αρχείο του ISC3-ST.

Μαζί με την δημιουργία του μετεωρολογικού αρχείου (Deptest.met) απαιτείται και η δημιουργία ενός αρχείου που εμπεριέχει δεδομένα εισόδου (Deptest.inp). Το αρχείο θα περιέχει παραμέτρους όπως: το ύψος του αποδέκτη (1,5m), το ύψος του μετεωρολογικού σταθμού (10m), τις αποστάσεις του αποδέκτη από την πηγή όπου θα υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις (ορίζονται αποστάσεις από 0 έως 10000 μέτρα) και διαστασιολόγηση των επιφανειακών πηγών που εισάγονται στο Deptest.INP.

Επίσης εκτός από αυτά τα δεδομένα, εισάγονται δεδομένα για το κάθε πλοίο όπως είναι σημεία ορισμού της επιφάνειας στο χώρο μελέτης (Xs,Ys,Zs) (m), το μήκος της πηγής από βορρά προς νότο (Xinit) (m), το μήκος της πηγής από ανατολή προς δύση (Yinit) (m), το ύψος απελευθέρωσης των εκπομπών, δηλαδή το ύψος καπνοδόχου του κάθε πλοίου και τέλος το ρυθμό εκπομπής που συντελείται στην επιφάνεια η οποία διαφέρει για κάθε πλοίο.

CO STARTING

TITLEONE A PROJECT for the ISCST Model

MODELOPT RURAL CONC

AVERTIME 24

POLLUTID PM10

FLAGPOLE 1.5

RUNORNOT RUN

CO FINISHED

Σχόλιο [U1]: Τίτλος που ορίζεται από το χρήστη. Επίσης μπορεί να εισαχθεί ένας δεύτερος τίτλος με τη λέξη TITLETWO

Σχόλιο [U2]: Βρισκόμαστε σε αγροτική περιοχή. Στην περίπτωση που είναι αστική περιοχή γράφουμε urban αντί για rural.

Σχόλιο [U3]: οι υπολογισμοί που επιθυμούμε είναι τιμές συγκεντρώσεων.

Σχόλιο [U4]: ορίζουμε την χρονική διάρκεια για την οποία επιθυμούμε να γίνουν οι υπολογισμοί.

Σχόλιο [U5]: εισάγουμε τον ρύπο που θέλουμε να εξετάσουμε.

Σχόλιο [U6]: Υψος αποδέκτη.

Σχόλιο [U7]: ορίζουμε ότι θέλουμε να γίνουν οι υπολογισμοί με την επιλογή RUN.

SO STARTING

LOCATION STACK1 POINT 0.0 0.0 0.0

** Point Source QS HS TS VS DS

** Parameters:

SRCPARAM STACK1 1.00 35.0 432. 11.7 2.4

BUILDHGT STACK1 36*34.

BUILDWID STACK1 35.43 36.45 36.37 35.18 32.92 29.66 25.50 20.56

STACK1 15.00 20.56 25.50 29.66 32.92 35.18 36.37 36.45

STACK1 35.43 33.33 35.43 36.45 0.00 35.18 32.92 29.66

STACK1 25.50 20.56 15.00 20.56 25.50 29.66 32.92 35.18

STACK1 36.37 36.45 35.43 33.33

SRCGROUP ALL

SO FINISHED

Ο κωδικός της σημειακής πηγής σε αυτήν την περίπτωση Stack 1

Βάζουμε POINT αντί για AREA καθώς πρόκειται για σημειακή πηγή

Το σημείο που βρίσκεται η πηγή (x,y,z)

Qs: Ρυθμός εκπομπής των ρύπων (g/s)

Hs: ύψος απελευθέρωσης από την πηγή

TS: Θερμοκρασία εξόδου των ρύπων (K)

Vs: ταχύτητα εξόδου των ρύπων (m/s)

Ds: διάμετρος καμινάδας (m)

Χρησιμοποιείται μόνο αν υπάρχουν κτίρια ανάμεσα στις πηγές.

Εικόνα 11: Εισαγωγή δεδομένων στο μοντέλο ISC3.

Η μορφή του μοντέλου ISC3 εισαγωγής των δεδομένων είναι η παραπάνω. Αρχικά ξεκινάμε την διαδικασία δίνοντας έναν τίτλο έτσι ώστε να μπορούμε να τον ξεχωρίζουμε από τα υπόλοιπα αποτελέσματα. Εφόσον έχουν υπολογιστεί ο ρυθμός εκπομπής, το ύψος απελευθέρωσης και η ταχύτητα εξόδου των ρύπων, εισάγονται τα απαραίτητα δεδομένα για κάθε πλοίο ξεχωριστά (Stack 1, Stack 2 κλπ). Η θερμοκρασία εξόδου των ρύπων και η διάμετρος καμινάδας εισήχθησαν βιβλιογραφικά και σύμφωνα με τις πληροφορίες που δόθηκαν από τις εταιρείες ακτοπλοϊκών γραμμών. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα κτίρια που βρίσκονται στην περιοχή δεν λήφθηκαν υπόψη.

RE STARTING

GRIDPOLR POL1 STA

POL1 ORIG 0 0

POL1 DIST 100 200 300 500 1000

POL1 GDIR 36. 10. 10.

POL1 END

Σχόλιο [U14]: ορίζει την θέση της αρχής των συντεταγμένων (x,y), για να ορισθεί το πολικό σύστημα.

Σχόλιο [U15]: θεωρούμε αποδέκτες σε αποστάσεις 100m, 200m, 300m 500m και 1000m. Τέλος θα υπάρχουν 36 διευθύνσεις, ξεκινώντας από τις 10° και θα αυξάνονται κατά 10° δεξιόστροφα (δες σχήμα 2).

RE FINISHED

ME STARTING

ME INPUTFIL DEPTTEST.MET

ME ANEMHGHT 10.0 METERS

ME UAIRDATA 13996 1987 Topeka

ME SURFDATA 03928 1987 Wichita

ME FINISHED

Σχόλιο [U16]: Στην συγκεκριμένη περίπτωση το όνομα του μετεωρολογικού αρχείου είναι DEPTTEST.MET

Σχόλιο [U17]: Το ανεμόμετρο βρίσκεται σε ύψος 10m.

Σχόλιο [U18]: Οι κωδικοί που υπάρχουν στο μετεωρολογικό αρχείο.

OU STARTING

DAYTABLE ALLAVE

MAXIFILE 24 ALL 0.0 MAXIALL.FIL 25

OU FINISHED

Σχόλιο [U19]: Εξάγονται τα αποτελέσματα για κάθε μέρα.

Σχόλιο [U20]: Στο αρχείο Maxiall.fil θα έχει όλες τις συγκεντρώσεις που θα είναι μεγαλύτερες από 0 ανά ημέρα (24 ώρες).

Εικόνα 12: Εισαγωγή παραμέτρων στο κυρίως αρχείο του ISC3-ST.

Συνεχίζοντας, εισάγονται είτε καρτεσιανές είτε πολικές συντεταγμένες, το ύψος που βρίσκεται το ανεμόμετρο το όνομα του μετεωρολογικού αρχείου έτσι ώστε να μπορεί να το αξιοποιήσει, κάποιοι κωδικοί που υπάρχουν στο μετεωρολογικό αρχείο και τέλος το όνομα του αρχείου που θα δημιουργηθεί με τα αποτελέσματα ανά ημέρα.

Μετά την ολοκλήρωση του αρχείου το μοντέλο είναι έτοιμο προς εκτέλεση. Τα αποτελέσματα αντλούνται από το αρχείο Maxiall όπου περιλαμβάνονται οι συγκεντρώσεις του κάθε ρύπου ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) σε καρτεσιανές συντεταγμένες (m). Χαρακτηριστικό παράδειγμα ακολουθεί στην εικόνα 13 όπου για συγκεκριμένες καρτεσιανές συντεταγμένες (x,y) αντιστοιχεί και μια συγκέντρωση (average concentration), του ρύπου που μελετάται κάθε φορά.


```

|* ISCST3 (02035): A PROJECT for the ISCST Model AUTUMN
* MODELING OPTIONS USED:
* CONC RURAL FLAT FLGPOL DFAULT
* MAXI-FILE FOR 24-HR VALUES >= A THRESHOLD OF 0.000
* FOR SOURCE GROUP: ALL
* FORMAT: (1X,I3,1X,A8,1X,I8.8,2(1X,F13.5),2(1X,F7.2),1X,F13.5)
*AVE GRP DATE X Y ELEV FLAG AVERAGE CONC
*
24 ALL 18010124 17.36482 98.48077 0.00 1.50 0.00000
24 ALL 18010124 34.72964 196.96155 0.00 1.50 0.00001
24 ALL 18010124 52.09445 295.44232 0.00 1.50 0.00175
24 ALL 18010124 86.82409 492.40387 0.00 1.50 0.00235
24 ALL 18010124 173.64818 984.80774 0.00 1.50 0.00144
24 ALL 18010124 34.20201 93.96926 0.00 1.50 0.00000
24 ALL 18010124 68.40403 187.93852 0.00 1.50 0.00020
24 ALL 18010124 102.60604 281.90778 0.00 1.50 0.03204
24 ALL 18010124 171.01007 469.84631 0.00 1.50 0.10679
24 ALL 18010124 342.02014 939.69263 0.00 1.50 0.30876
24 ALL 18010124 50.00000 86.60254 0.00 1.50 0.00000
24 ALL 18010124 100.00000 173.20508 0.00 1.50 0.00165
24 ALL 18010124 150.00000 259.80762 0.00 1.50 0.14161
24 ALL 18010124 250.00000 433.01270 0.00 1.50 0.80718
24 ALL 18010124 500.00000 866.02539 0.00 1.50 2.13413
24 ALL 18010124 64.27876 76.60445 0.00 1.50 0.00000
24 ALL 18010124 128.55753 153.20889 0.00 1.50 0.00397
24 ALL 18010124 192.83629 229.81334 0.00 1.50 0.24661

```

Εικόνα 13: Παράδειγμα αποτελεσμάτων αρχείου «Maxial».

Γενικά το μοντέλο ISC3 έχει την δυνατότητα, ανάλογα με τις επιλογές του χρήστη να προσομοιώνει επίσης την υγρή και ξηρή εναπόθεση σε απλό ή πολύπλοκο έδαφος. Το μοντέλο ISC3 δέχεται ωριαία μετεωρολογικά δεδομένα για να καθορίσει τις συνθήκες εξάπλωσης του θυσάνου, της μεταφοράς, της διάχυσης και της εναπόθεσης. Τελικά το μοντέλο υπολογίζει σε ωριαία βάση, τις συγκεντρώσεις ή τις τιμές εναπόθεσης (υγρής, ξηρής και ολικής) για κάθε πηγή ή για κάθε συνδυασμό πηγών και αποδεκτών.

Κεφάλαιο 6°

6.1. Μετεωρολογικά Δεδομένα

Η Μετεωρολογία είναι η επιστήμη που μελετά την ατμόσφαιρα και τα (μετεωρολογικά) φαινόμενα τα οποία συμβαίνουν μέσα σε αυτή. Ο όρος προέρχεται από τον μεγάλο φιλόσοφο της αρχαίας Ελλάδας Αριστοτέλη, ο οποίος το 340 π.Χ. έγραψε το βιβλίο με τίτλο Μετεωρολογικά.

Η αριθμητική έκφραση του καιρού σε έναν τόπο απεικονίζεται μέσα από έναν συνδυασμό μετεωρολογικών παραμέτρων, που ανταποκρίνονται στις συνθήκες της ατμοσφαιρικής πίεσης, της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα, της νέφωσης, της βροχόπτωσης, των ανέμων, της ορατότητας κ.λπ., οι οποίες έχουν μετρηθεί σε μια συγκεκριμένη ώρα της ημέρας σε έναν τόπο και τελικά εκφράζουν τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Τα μεγέθη αυτά ονομάζονται μετεωρολογικά στοιχεία ή στοιχεία καιρού.

Οι μετρήσεις των μετεωρολογικών φαινομένων γίνονται στους μετεωρολογικούς σταθμούς, με την βοήθεια διάφορων οργάνων.

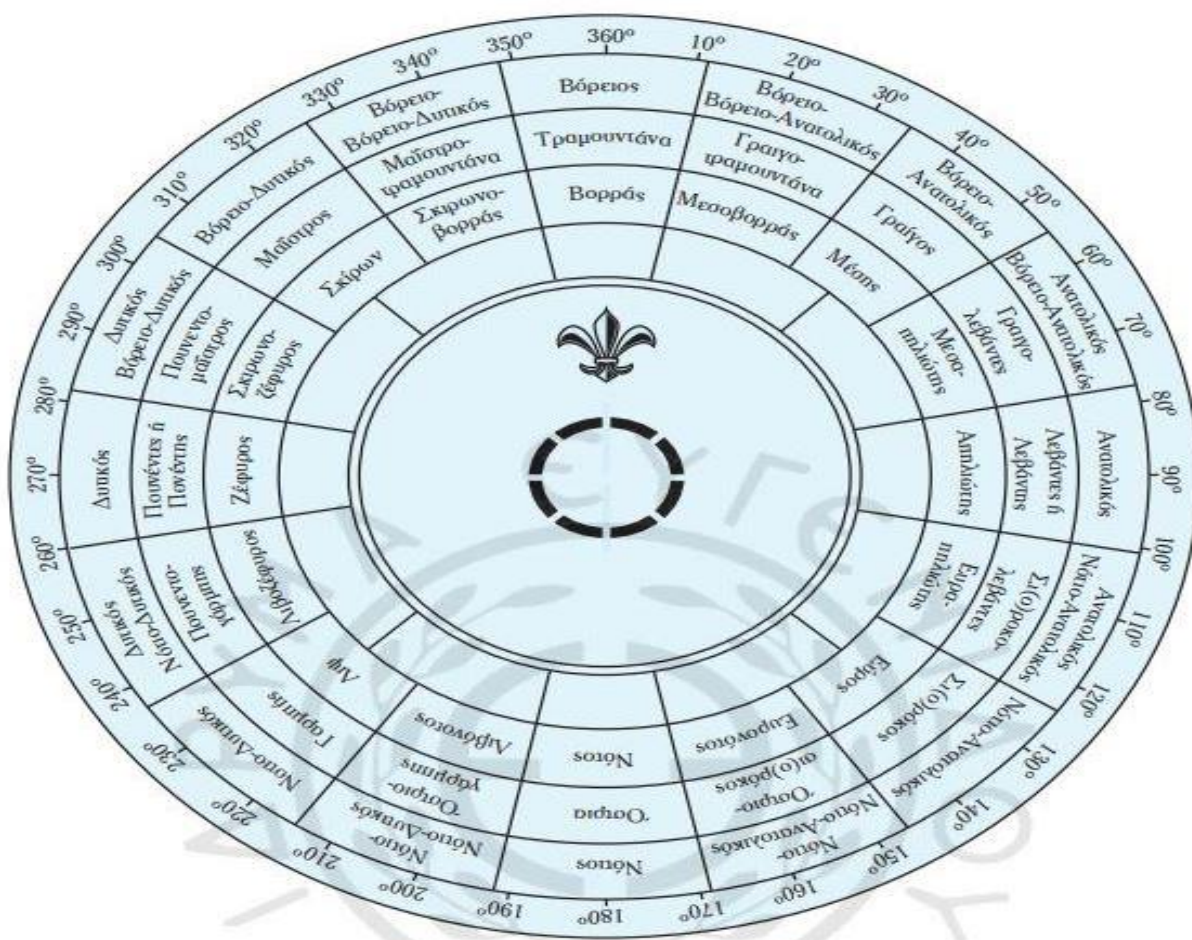
6.2 Εκτίμηση μετεωρολογικών παραμέτρων

Αφού συλλέξουμε τα μετεωρολογικά δεδομένα από το Αστεροσκοπείο Αθηνών για τον μετεωρολογικό σταθμό του Πολυτεχνείου Κρήτης, θα πρέπει σε κάποια στοιχεία όπως είναι η διεύθυνση ανέμου και η ταχύτητα ανέμου να γίνει αλλαγή των μονάδων, κατάλληλων έτσι ώστε να μπορούν να αναγνωριστούν από το μοντέλο ISC3.

Εφόσον γίνει αυτό τα δεδομένα εισάγονται με την εξής σειρά: έτος, μήνας, ημέρα, ώρα, διεύθυνση ανέμου, ταχύτητα ανέμου, θερμοκρασία, κλάση ευστάθειας και ύψος ανάμιξης.

6.2.1. Εκτίμηση διεύθυνσης ανέμου

Τα δεδομένα για την διεύθυνση ανέμου δόθηκαν σε μορφή επιγραμμική, δηλαδή Β, ΒΑ, ΒΒΑ (Βόρεια, βόρεια ανατολικά, βόρεια-βόρεια ανατολικά) και ούτω καθεξής. Για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το μοντέλο ISC3 χρησιμοποιήθηκε το ανεμολόγιο για την αντιστοίχιση των διευθύνσεων μεταφρασμένων σε μοίρες. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 14.



Εικόνα 14: Ανεμολόγιο.

6.2.2.Εκτίμηση ταχύτητας ανέμου

Τα μετεωρολογικά δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού Πολυτεχνείου Κρήτης περιείχαν την ταχύτητα ανέμου σε μονάδες km/h. Με σκοπό την χρησιμοποίησή τους στο μετεωρολογικό αρχείο DEPTTEST.met έγινε μετατροπή σε m/s.

$$\Delta\eta\lambda\alpha\delta\acute{\eta}: \frac{km}{h} \times \frac{1000m}{1km} \times \frac{1h}{60min} \times \frac{1min}{60s} = 0,2778 \frac{m}{s}$$

6.2.3.Εκτίμηση θερμοκρασίας

Όσον αφορά την θερμοκρασία, η θερμοκρασία δινόταν σε βαθμούς Celsius (°C). Επομένως έγινε μετατροπή σε Kelvin (K) ($\theta(K) = \theta(^{\circ}C) + 273,15$) έτσι ώστε να αναγνωριστεί σωστά από το μοντέλο ISC3.

6.2.4.Εκτίμηση κλάσης ισορροπίας (σταθερότητας)

Στην περίπτωση αυτή λαμβάνονται από τις μετρήσεις του σταθμού, οι τιμές της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Οι τιμές νέφωσης κατά την διάρκεια της νύχτας επιλέχθηκαν με βάση την εποχή και τον μήνα. Χρησιμοποιώντας την μέθοδο Pasquill (Πίνακας 13) οι τιμές ηλιακής ακτινοβολίας και νέφωσης, σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες, υπολογισμένες, μέσες ωριαίες τιμές ταχύτητας ανέμου (m/sec) δίνουν ποιοτικά αποτελέσματα για τον προσδιορισμό των κλάσεων ευστάθειας σε ωριαία βάση

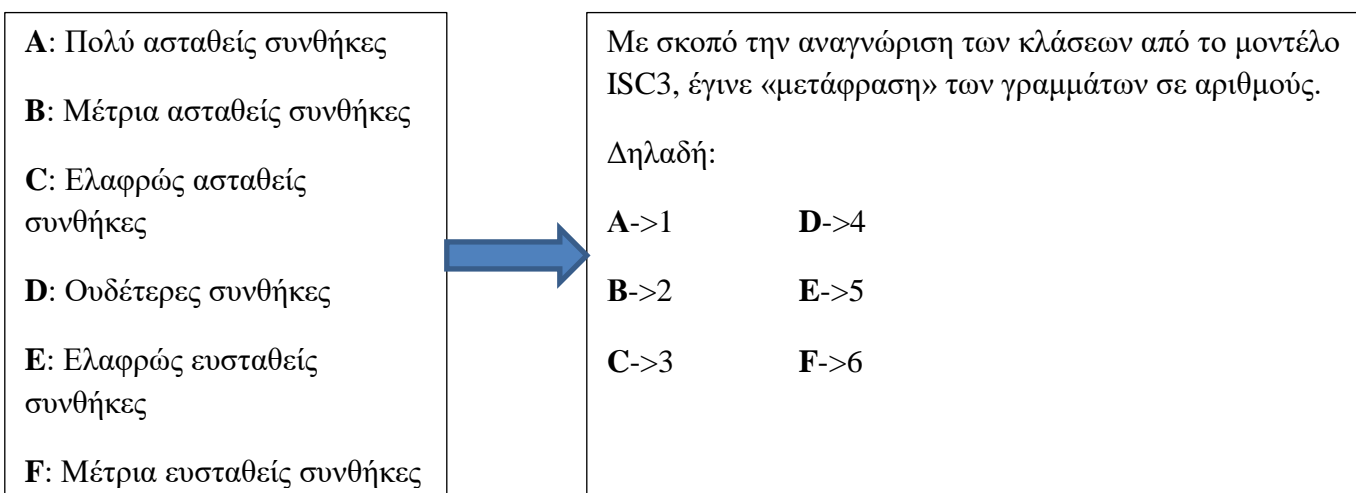
	Ηλιακή Ακτινοβολία Ημέρα ($W m^{-2}$)					Νέφωση νύχτας (oktas)		
Ταχύτητα Ανέμου ($m s^{-1}$)	Δυνατή (>600)	Μέτρια (300-600)	Ελάχιστη (<300)	Νεφελώδης	Μια ώρα μετά την ανατολή του Ηλίου	0-3	4-7	8
$\leq 2,0$	A	A	B	C	D	F	F	D
2,0- 3,0	A	B	C	C	D	F	E	D
3,0-5,0	B	B	C	C	D	E	D	D
5,0-6,0	C	C	D	D	D	D	D	D
>6,0	C	D	D	D	D	D	D	D

Πίνακας 13: Οι κλάσεις ισορροπίας (σταθερότητας) κατά τροποποιημένο Pasquill (Mohan and Siddiqui, 1998).

Μήνας	Νέφωση (oktas)	Μήνας	Νέφωση (oktas)
Ιανουάριος	4-7	Ιούλιος	0-3
Φεβρουάριος	4-7	Αύγουστος	0-3
Μάρτιος	4-7	Σεπτέμβριος	0-3
Απρίλιος	4-7	Οκτώβριος	4-7
Μάιος	0-3	Νοέμβριος	4-7
Ιούνιος	0-3	Δεκέμβριος	4-7

Πίνακας 14: Επιλογή νέφωσης.

Οι κλάσεις ισορροπίας του Πίνακα 14 αναλύονται ως εξής:



6.2.5. Εκτίμηση ύψους ανάμιξης

Για τον υπολογισμό του ύψους ανάμιξης, λαμβάνονται υπόψη κάποιες σταθερές.

- i. Οι σταθερές a και b
 Ανάλογα με την κλάση ευστάθειας υπάρχουν και δυο σταθερές a και b

Κλάση Ευστάθειας	Περιγραφή Ατμοσφαιρικών Συνθηκών	Τιμή Συντελεστών	
		a	b
A	Εξαιρετικά ασταθείς	-0,096	0,029
B	Μέτρια ασταθείς	-0,037	0,029
C	Ελαφρώς ασταθείς	-0,002	0,018
D	Ουδέτερες	0	0
E	Ελαφρώς ευσταθείς	0,004	-0,018
F	Μέτρια ευσταθείς	0,035	-0,036

Πίνακας 15: Τιμές συντελεστών a και b σε συνάρτηση των κλάσεων ευστάθειας (Παπαναστασίου 2007).

- ii. Το μήκος τραχύτητας με βάση την κατηγορία εδαφοκάλυψης

Κατηγορία Χρήσης γης	Κατηγορία Εδαφοκάλυψης	Μήκος τραχύτητας			
		Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Χειμώνας
Υδατα	Υδάτινα σώματα	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Φυλλοβόλο δάσος	Μικτό δάσος/Δάσος πλατύφυλλων	1	1,3	0,8	0,5
Κωνοφόρο Δάσος	Δάσος κωνοφόρων	1,3	1,3	1,3	1,3
Βάλτος	Υγρότοποι	0,2	0,2	0,2	0,05
Καλλιεργήσιμη έκταση	Αγροτικές εκτάσεις εκτός από βοσκότοπους	0,03	0,2	0,05	0,01
Λιβάδι	Βοσκότοποι	0,05	0,1	0,01	0,001
Αστική έκταση	Δομημένες εκτάσεις	1	1	1	1
Έρημος/θαμνότοπος	Εκτάσεις με θαμνώδη, και/ή ποώδη βλάστηση/ Ανοικτές εκτάσεις με λίγη ή καθόλου βλάστηση	0,3	0,3	0,3	0,15

Πίνακας 16: Μήκος τραχύτητας (z_0) για διάφορες κατηγορίες εδαφοκάλυψης.

Με τα παραπάνω κριτήρια επιλέχθηκε για την περιοχή της Σούδας, αστική περιοχή. Δηλαδή $z_0=1$

- iii. Το ύψος του μετεωρολογικού σταθμού $z = 10\text{m}$
Ο μετεωρολογικός σταθμός του Πολυτεχνείου Κρήτης βρίσκεται σε ύψος, $z=10\text{m}$.
- iv. Το γεωγραφικό πλάτος.
Στη συγκεκριμένη μελέτη το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής είναι, $\varphi = 35.49^\circ$

Στη συνέχεια για τον υπολογισμό του ύψους ανάμιξης είναι αναγκαίο να υπολογιστούν πρώτα κάποια άλλα μεγέθη, όπως είναι το μήκος Monin-Obukhov.

6.2.6. Υπολογισμός μήκους Monin-Obukhov, παραμέτρου Ψ_m και ταχύτητας τριβής

i. Υπολογισμός μήκους Monin-Obukhov

Το μήκος Monin-Obukhov υπολογίζεται από την εξίσωση (Golder, 1972; Seinfeld, 1986; Venkatram 1996; Παπαναστασίου, 2007)

$$\frac{1}{L} = a + b \times \log z_0 \quad (1)$$

Όπου: z_0 : το μήκος τραχύτητας

a, b : συντελεστές που η τιμή του εξαρτάται από την κλάση ευστάθειας

Αφού υπολογιστεί το μήκος L , προχωρούμε στον υπολογισμό της **παραμέτρου Ψ_m** . Η παράμετρος Ψ_m υπολογίζεται με τις παρακάτω εξισώσεις (Fatogoma και Jacko, 2002)

ii. Υπολογισμός παραμέτρου Ψ_m

- Για ασταθείς συνθήκες (A,B,C) ισχύουν οι τύποι:

$$\Psi_m\{z/L\} = 2 \ln\left(\frac{1+x}{2}\right) + \ln\left(\frac{1+x^2}{2}\right) - 2\tan^{-1}x + \pi/2 \quad (2)$$

$$\Psi_m\{z_o/L\} = 2 \ln\left(\frac{1+x_o}{2}\right) + \ln\left(\frac{1+x_o^2}{2}\right) - 2\tan^{-1}x_o + \pi/2 \quad (3)$$

$$\text{Όπου: } x = (1-16 \times z/L)^{1/4} \text{ και } x_o = (1-16 \times z_o/L)^{1/4} \quad (4)$$

- Για ευσταθείς συνθήκες (E,F) ισχύουν οι τύποι:

$$\Psi_m\{z/L\} = -5(z/L) \quad (5)$$

$$\Psi_m\{z_o/L\} = -5(z_o/L) \quad (6)$$

- Για ουδέτερες συνθήκες ισχύουν

$$\Psi_m\{z/L\} = 0 \quad (7)$$

$$\Psi_m\{z_o/L\} = 0 \quad (8)$$

Το επόμενο βήμα πριν τον υπολογισμό του ύψους ανάμιξης είναι ο υπολογισμός της ταχύτητας τριβής

iii. Υπολογισμός ταχύτητας τριβής

Η ταχύτητα τριβής (u^*) υπολογίζεται από την εξίσωση (Fatogoma και Jacko, 2002):

$$U^* = \frac{0,4 * u}{\ln\left(\frac{z}{z_o}\right) - \Psi_m\left\{\frac{z}{L}\right\} + \Psi_m\left\{\frac{z_o}{L}\right\}} \quad (9)$$

όπου u είναι η ταχύτητα του ανέμου (m/s) και Ψ_m είναι οι δυναμικές παράμετροι ισορροπίας.

Το τελευταίο βήμα είναι ο υπολογισμός της Κοριόλος Δύναμης.

Η κοριόλις παράμετρος (coriolis parameter) υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση (Παπαναστασίου, 2007; Λαζαρίδης, 2008):

$$f = 2 \times \Omega \times \sin\phi \quad (10)$$

Όπου: Ω είναι η γωνιακή ταχύτητα περιστροφή της Γής $= \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{24h} = 7,268 \cdot 10^{-5} \text{ rad/s}$

ϕ το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής που μελετάμε $= 35.49^\circ$

Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (1) έως (10), **υπολογίζεται τελικά το ύψος ανάμιξης.**

Υπάρχουν πολλές εξισώσεις στην επιστημονική βιβλιογραφία για τον υπολογισμό του ύψους ανάμιξης. Στην παρούσα εργασία το ύψος ανάμιξης (h) θα υπολογιστεί από τις παρακάτω εξισώσεις (Panofsky et al. 1977; Panofsky and Dutton, 1984; Garratt, 1994; Zannetti, 1990; Arya, 1999; Oetl et al., 2006):

$$h = 0,17 \times \left(\frac{u_*}{f} \right) \quad \text{για ουδέτερες συνθήκες (D)} \quad (11)$$

$$h = 0,4 \times \left(\frac{u_* x L}{f} \right)^{0,5} \quad \text{για ευσταθείς συνθήκες (E,F)} \quad (12)$$

$$h = 0,4 \times (-L) \times \left(\frac{1}{0,6} \times \left(1,3 \times \left(1 - 3 \times \frac{z}{L} \right) \right) \right)^3 \quad \text{για ασταθείς συνθήκες (A,B,C)} \quad (13)$$

Όπου:

u^* είναι η ταχύτητα τριβής (m/s),

f είναι η κοριόλις παράμετρος (s⁻¹),

L είναι το μήκος Monin-Obukhov (m),

z είναι το ύψος του ανεμόμετρου (m).

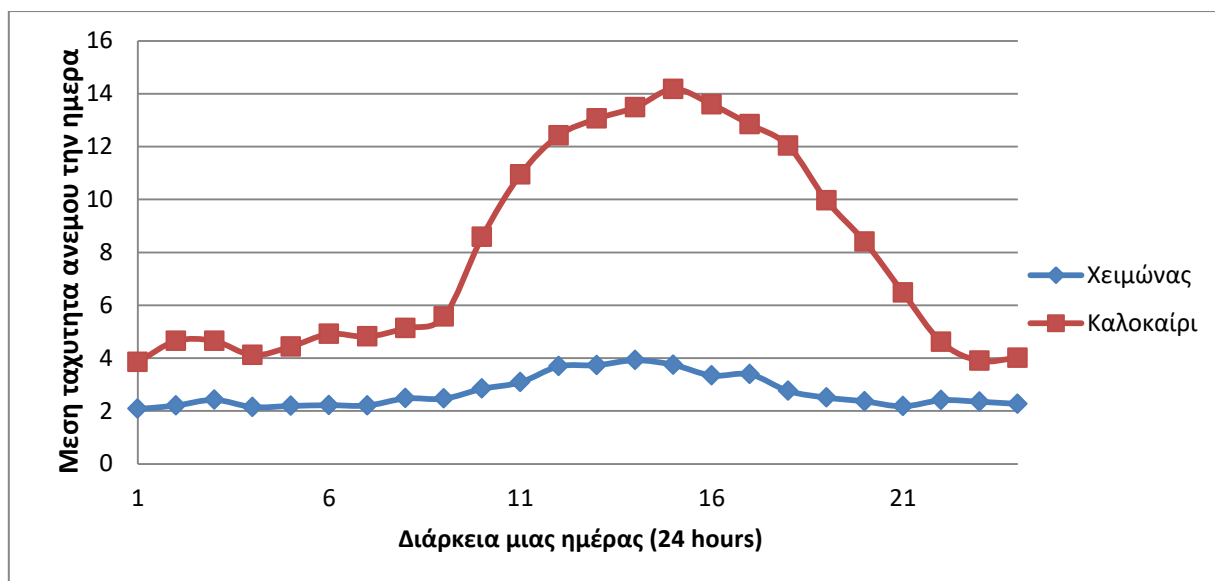
6.3. Μετεωρολογικά αποτελέσματα

Αφού γίνει η κατάλληλη προαναφερθείσα διαδικασία επεξεργασίας των μετεωρολογικών δεδομένων. Τα μετεωρολογικά δεδομένα εισάγονται στο αρχείο DEPTTEST.met. Εφόσον τα αποτελέσματα θα είναι σε ωριαία βάση, φροντίζουμε να υπάρχει μια τιμή ανά ώρα (24h), δηλαδή τα δεδομένα να είναι για την διάρκεια της ημέρας για κάθε μέγεθος που θα χρησιμοποιηθεί, αφού στη συγκεκριμένη εργασία το μοντέλο ISC3-ST, μελετά εκπομπές σε ωριαία βάση, δημιουργώντας έτσι ημερήσια προφίλ συγκεντρώσεων αέριας ρύπανσης. Για να γίνει αυτό στο μετεωρολογικό αρχείο εισάγεται για κάθε ώρα της ημέρας μια τιμή, που

προκύπτει από το μέσο όρο των τιμών των μετεωρολογικών δεδομένων, της ίδιας ώρας, όλων των ημερών του κάθε μήνα. Το ίδιο γίνεται και για τις υπόλοιπες ώρες τις μέρας, με αποτέλεσμα για κάθε μετεωρολογική παράμετρο να προκύπτει ένα μέσο ημερήσιο μετεωρολογικό αρχείο, για κάθε μήνα. Αναλυτικά τα αποτελέσματα για κάθε μετεωρολογική παράμετρο ακολουθούν παρακάτω.

6.3.1. Ταχύτητα ανέμου

Το παρακάτω διαγράμματα 1 απεικονίζει τις ωριαίες ταχύτητες ανέμου μιας μέσης ημέρας για τις εποχές καλοκαίρι και χειμώνα στην περιοχή της Σούδας. Στον άξονα x παρατίθενται οι ώρες μιας ημέρας, ενώ στον άξονα y οι τιμές των ταχυτήτων ανέμου (m/sec).

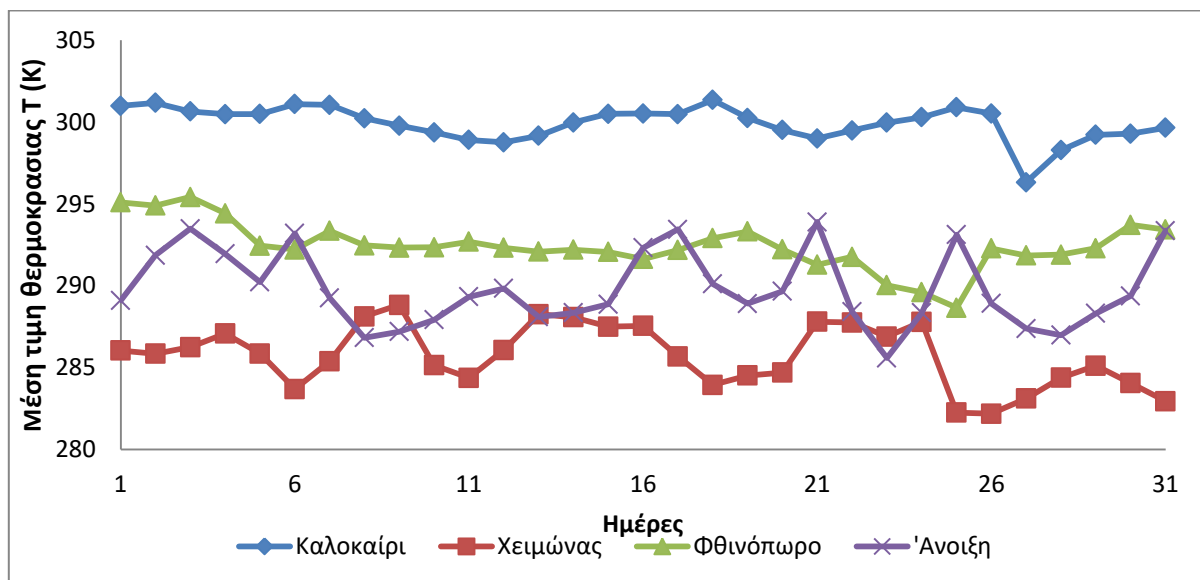


Διάγραμμα 6: Απεικόνιση διακύμανσης ωριαίων ταχυτήτων μέσης ημέρας για χειμώνα και καλοκαίρι στην περιοχή της Σούδας.

Παρατηρείται ότι οι μέγιστες μέσες ωριαίες ταχύτητες ανέμου (14,17 m/sec) παρουσιάζονται το καλοκαίρι, ενώ οι ελάχιστες (2,07 m/sec) το χειμώνα. Γενικότερα παρατηρείται στο διάγραμμα ότι μεγάλες ωριαίες ταχύτητες ανέμου εντοπίζονται κατά τη διάρκεια της μέρας και στις δυο εποχές, δηλαδή τις ώρες 10 το πρωί με 8 το απόγευμα για το καλοκαίρι και τις ώρες 9 το πρωί με 7 το απόγευμα για τον χειμώνα, και οι μέγιστες κατά τη διάρκεια του μεσημεριού δηλαδή τις ώρες 14 με 4. Τις υπόλοιπες ώρες που αφορούν κυρίως τη νύχτα οι τιμές κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα.

6.3.2.Θερμοκρασία

Με τα μετεωρολογικά δεδομένα από το Αστεροσκοπείο Αθηνών, δημιουργήθηκαν διάφορα διαγράμματα, ένα από αυτά είναι το διάγραμμα θερμοκρασίας με βάση την κάθε εποχή του χρόνου.



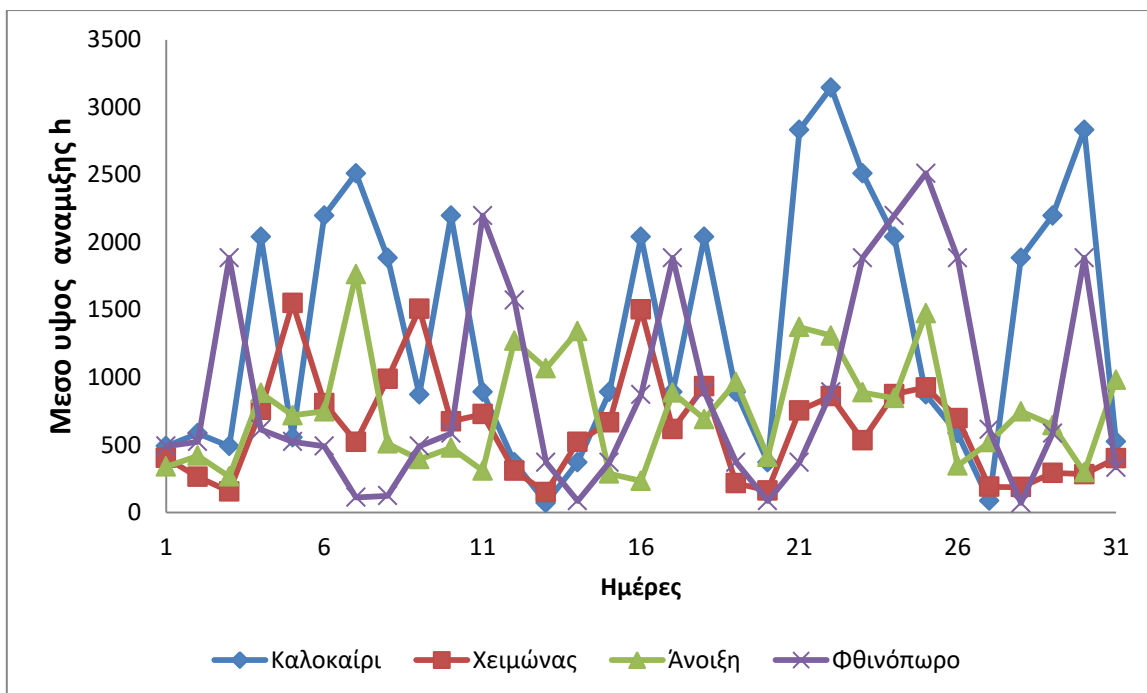
Διάγραμμα 7: Απεικόνιση διακύμανσης θερμοκρασιών μέσης ημέρας για κάθε εποχή στην περιοχή της Σούδας.

Παρατηρούνται υψηλές τιμές θερμοκρασίας το καλοκαίρι σε αντίθεση με τον χειμώνα όπου είναι χαμηλές. Κάτι το οποίο είναι λογικό καθώς η Κρήτη έχει πολύ ζεστό κλίμα. Επίσης παρατηρείται υψηλή μεν αλλά σταθερή θερμοκρασία το καλοκαίρι σε αντίθεση με την άνοιξη που διακρίνεται μια πιο ασταθής συνολική θερμοκρασία με την αρχή της εποχής να ξεκινά με 17 C με πολλά скаμπανεβάσματα στα μέσα της εποχής και τέλος να αναβαίνει στους 21 C. Αυτό είναι λογικό καθώς η άνοιξη είναι μια μεταβατική περίοδος χειμώνα με καλοκαιριού. Τέλος όσον αφορά το φθινόπωρο καθώς έχει προηγηθεί καλοκαίρι ξεκινά σε μια σχετικά ζεστή θερμοκρασία (22 C) και όσο περνούν οι μέρες οι θερμοκρασία φθίνει και αυτή.

6.3.3.Ύψος ανάμιξης

Ορισμός: Το μετεωρολογικό ύψος ανάμιξης (mixing height) είναι το ύψος από την επιφάνεια της γης μέχρι το οποίο υπάρχει πλήρης ανάμιξη των αερίων ρύπων λόγω των ατμοσφαιρικών αναταράξεων.

Το ύψος ανάμιξης επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την αραίωση των ρύπων. Όσο πιο ψηλά εκτείνεται τόσο μεγαλύτερη αραίωση των ρύπων επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των τυρβωδών στροβίλων. Όσο μεγαλύτερη αραίωση ρύπων επιτυγχάνεται τόσο μικρότερες είναι οι συγκεντρώσεις αυτών κοντά στο έδαφος. Όταν το ύψος ανάμιξης είναι μικρό η αραίωση των ρύπων είναι μικρή. Οι ρύποι τείνουν να συγκεντρώνονται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, οπότε οι συγκεντρώσεις των ρύπων θα είναι μεγαλύτερες κοντά στην επιφάνεια του εδάφους.



Διάγραμμα 8: Απεικόνιση ύψους ανάμιξης μέσης ημέρας για κάθε εποχή στην περιοχή της Σούδας.

Με βάση τα προηγούμενα, αν λάβουμε υπόψη ότι μικρό ύψος ανάμιξης ισοδυναμεί με μικρή αραίωση των ρύπων και παραμονή αυτών στην επιφάνεια της Γής, ο χειμώνας και η άνοιξη ανήκουν σύμφωνα με το διάγραμμα στις εποχές όπου υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση ρύπων λόγω μικρού ύψους ανάμιξης. Όμως τον χειμώνα η διέλευση των πλοίων είναι ελάχιστη, οπότε και η συγκέντρωση δεν εξαρτάται άμεσα από το ύψος ανάμιξης. Σε αντίθεση με την άνοιξη όπου η κινητικότητα αυξάνεται. Τέλος το καλοκαίρι και το φθινόπωρο ανήκουν στις εποχές με το μεγαλύτερο ύψος ανάμιξης. Αυτό συμβαίνει λόγω θερμού κλίματος ιδιαίτερα το καλοκαίρι όπου παρατηρούνται ανοδικές κινήσεις θερμού αέρα. Θερμές αέριες μάζες αρχίζουν να ανεβαίνουν προς τα πάνω από την θερμαινόμενη επιφάνεια του εδάφους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα έντονα φαινόμενα κατακόρυφης ανάμιξης του αέρα και γενικότερα των αέριων μαζών.

6.4 Αποτελέσματα μοντέλου ISC3

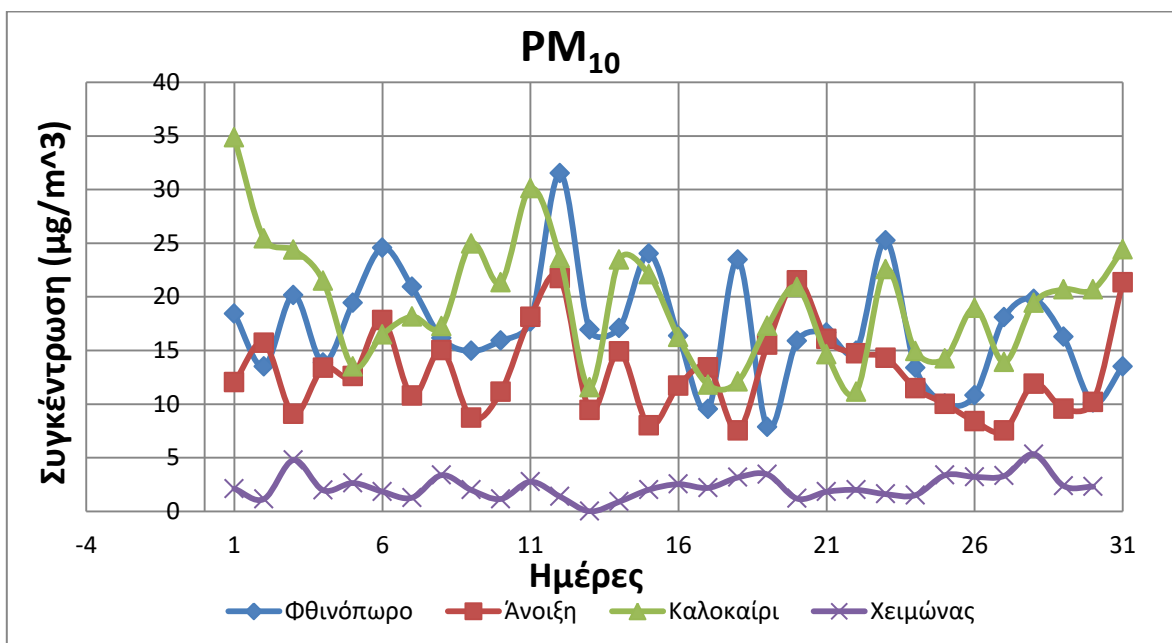
Μετά την εισαγωγή των παραπάνω δεδομένων όπως αναφέρθηκαν, αντλούνται τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων για κάθε ρύπο από το αρχείο Maxiall. Το μοντέλο ISC3 χρησιμοποιήθηκε για 4 ρύπους PM_{10} , NO_x , SO_2 και CO . Οι συγκεντρώσεις κατηγοριοποιήθηκαν με βάση την εποχή και τον ρύπο.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αλλά και τα διαγράμματα.

ι. Αποτελέσματα PM₁₀ και διάγραμμα στο λιμάνι της Σούδας

Φθινόπωρο		Άνοιξη		Καλοκαίρι		Χειμώνας	
Μέση συγκέντρωση (μg/m ³)	Ημέρες	Μέση συγκέντρωση (μg/m ³)	Ημέρες	Μέση συγκέντρωση (μg/m ³)	Ημέρες	Μέση συγκέντρωση (μg/m ³)	Ημέρες
18,43	1,00	12,03	1,00	34,86	1,00	2,11	1,00
13,51	2,00	15,69	2,00	25,42	2,00	1,14	2,00
20,15	3,00	9,07	3,00	24,39	3,00	4,78	3,00
13,87	4,00	13,36	4,00	21,48	4,00	1,96	4,00
19,43	5,00	12,59	5,00	13,50	5,00	2,63	5,00
24,56	6,00	17,82	6,00	16,48	6,00	1,83	6,00
20,93	7,00	10,78	7,00	18,16	7,00	1,27	7,00
16,15	8,00	15,01	8,00	17,26	8,00	3,37	8,00
14,94	9,00	8,72	9,00	24,95	9,00	1,99	9,00
15,92	10,00	11,14	10,00	21,34	10,00	1,15	10,00
17,68	11,00	18,13	11,00	30,12	11,00	2,76	11,00
31,51	12,00	21,74	12,00	23,61	12,00	1,37	12,00
16,92	13,00	9,45	13,00	11,56	13,00	0,00	13,00
17,07	14,00	14,88	14,00	23,47	14,00	0,90	14,00
24,03	15,00	8,00	15,00	22,09	15,00	2,01	15,00
16,35	16,00	11,70	16,00	16,24	16,00	2,53	16,00
9,51	17,00	13,40	17,00	11,80	17,00	2,18	17,00
23,47	18,00	7,53	18,00	12,09	18,00	3,15	18,00
7,84	19,00	15,53	19,00	17,28	19,00	3,44	19,00
15,87	20,00	21,51	20,00	20,91	20,00	1,19	20,00
16,65	21,00	16,06	21,00	14,62	21,00	1,82	21,00
14,96	22,00	14,73	22,00	11,14	22,00	1,99	22,00
25,25	23,00	14,30	23,00	22,55	23,00	1,60	23,00
13,36	24,00	11,47	24,00	14,94	24,00	1,51	24,00
10,04	25,00	10,02	25,00	14,25	25,00	3,37	25,00
10,81	26,00	8,40	26,00	18,96	26,00	3,21	26,00
18,08	27,00	7,51	27,00	13,90	27,00	3,30	27,00
19,80	28,00	11,87	28,00	19,43	28,00	5,33	28,00
16,28	29,00	9,56	29,00	20,70	29,00	2,38	29,00
10,13	30,00	10,17	30,00	20,69	30,00	2,30	30,00
13,50	31,00	21,35	31,00	24,40	31,00		

Πίνακας 17: Αποτελέσματα PM_{10} μοντέλου ISC3 ανά εποχή στο λιμάνι της Σούδας.



Διάγραμμα 9: Απεικόνιση συγκέντρωσης PM_{10} ανά εποχή στο λιμάνι της Σούδας χρησιμοποιώντας το μοντέλο ISC3.

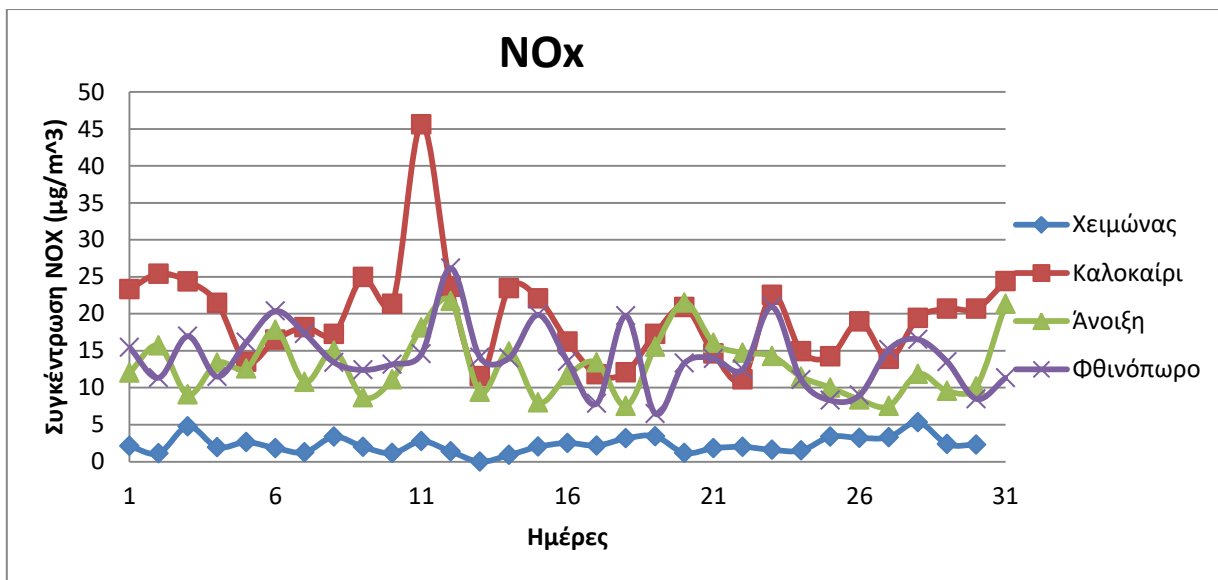
Σύμφωνα με το παραπάνω γράφημα, παρατηρείται ότι υπάρχει μια σταθερή σχεδόν διακύμανση όσον αφορά τον χειμώνα και χαμηλότερη συγκέντρωση συγκριτικά με τις άλλες εποχές. Το γεγονός αυτό είναι πάρα πολύ λογικό αφού τον χειμώνα υπάρχει λιγότερη διέλευση πλοίων και κρουαζιερόπλοιων. Επίσης, παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις την άνοιξη, το φθινόπωρο και το καλοκαίρι με τις μέγιστες να είναι το καλοκαίρι.

Επίσης, παρατηρείται η μέγιστη τιμή $34,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ όπου εμφανίζεται το καλοκαίρι, η οποία είναι μεν κοντά στα όρια ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) που ορίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά δεν την ξεπερνά.

ii. Αποτελέσματα NO_x και διάγραμμα

Φθινόπωρο		Χειμώνας		Καλοκαίρι		Άνοιξη	
Μέση συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ημέρες	Μέση συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ημέρες	Μέση συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ημέρες	Μέση συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ημέρες
15,44	1,00	2,11	1,00	23,33	1,00	12,03	1,00
11,35	2,00	1,14	2,00	25,42	2,00	15,69	2,00
16,97	3,00	4,78	3,00	24,39	3,00	9,07	3,00
11,50	4,00	1,96	4,00	21,48	4,00	13,36	4,00
16,16	5,00	2,63	5,00	13,50	5,00	12,59	5,00
20,38	6,00	1,83	6,00	16,48	6,00	17,82	6,00
17,33	7,00	1,27	7,00	18,16	7,00	10,78	7,00
13,43	8,00	3,37	8,00	17,26	8,00	15,01	8,00
12,40	9,00	1,99	9,00	24,95	9,00	8,72	9,00
13,15	10,00	1,15	10,00	21,34	10,00	11,14	10,00
14,57	11,00	2,76	11,00	45,63	11,00	18,13	11,00
26,18	12,00	1,37	12,00	23,61	12,00	21,74	12,00
14,09	13,00	0,00	13,00	11,56	13,00	9,45	13,00
14,02	14,00	0,90	14,00	23,47	14,00	14,88	14,00
19,86	15,00	2,01	15,00	22,09	15,00	8,00	15,00
13,54	16,00	2,53	16,00	16,24	16,00	11,70	16,00
7,86	17,00	2,18	17,00	11,80	17,00	13,40	17,00
19,72	18,00	3,15	18,00	12,09	18,00	7,53	18,00
6,50	19,00	3,44	19,00	17,28	19,00	15,53	19,00
13,33	20,00	1,19	20,00	20,91	20,00	21,51	20,00
13,94	21,00	1,82	21,00	14,62	21,00	16,06	21,00
12,49	22,00	1,99	22,00	11,14	22,00	14,73	22,00
20,93	23,00	1,60	23,00	22,55	23,00	14,30	23,00
11,10	24,00	1,51	24,00	14,94	24,00	11,47	24,00
8,29	25,00	3,37	25,00	14,25	25,00	10,02	25,00
8,98	26,00	3,21	26,00	18,96	26,00	8,40	26,00
15,15	27,00	3,30	27,00	13,90	27,00	7,51	27,00
16,53	28,00	5,33	28,00	19,43	28,00	11,87	28,00
13,51	29,00	2,38	29,00	20,70	29,00	9,56	29,00
8,48	30,00	2,30	30,00	20,69	30,00	10,17	30,00
11,33	31,00			24,40	31,00	21,35	31,00

Πίνακας 18: Αποτελέσματα NO_x μοντέλου ISC3 ανά εποχή στο λιμάνι της Σούδας.



Διάγραμμα 10: Απεικόνιση συγκέντρωσης NO_x ανά εποχή στο λιμάνι της Σούδας χρησιμοποιώντας το μοντέλο ISC3.

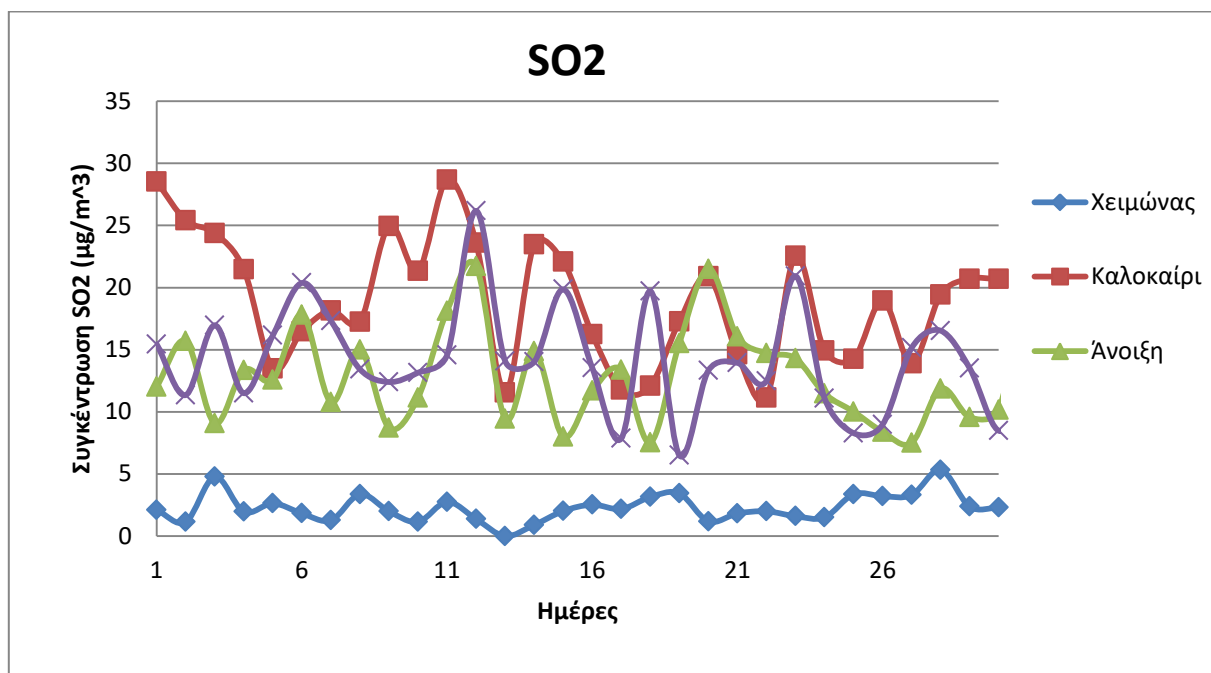
Σύμφωνα με το παραπάνω γράφημα, παρατηρείται ότι υπάρχει μια σταθερή σχεδόν διακύμανση όσον αφορά τον χειμώνα και χαμηλότερη συγκέντρωση συγκριτικά με τις άλλες εποχές. Το γεγονός αυτό είναι πάρα πολύ λογικό αφού τον χειμώνα υπάρχει λιγότερη διέλευση πλοίων και κρουαζιερόπλοιων. Επίσης, παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις την άνοιξη, το φθινόπωρο και το καλοκαίρι με τις μέγιστες να είναι το καλοκαίρι.

Επίσης, παρατηρείται η μέγιστη τιμή $45,63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ που παρουσιάζεται το καλοκαίρι, η οποία είναι αρκετά μακριά από τα όρια ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) που ορίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση, το οποίο είναι πολύ θετικό για το περιβάλλον και τους ανθρώπους.

iii. Αποτελέσματα SO₂ και διάγραμμα

Χειμώνας		Καλοκαίρι		Άνοιξη		Φθινόπωρο	
Μέση συγκέντρωση (μg/m ³)	Ημέρες	Μέση συγκέντρωση (μg/m ³)	Ημέρες	Μέση συγκέντρωση (μg/m ³)	Ημέρες	Μέση συγκέντρωση (μg/m ³)	Ημέρες
2,11	1,00	28,52	1,00	12,03	1,00	15,44	1,00
1,14	2,00	25,42	2,00	15,69	2,00	11,35	2,00
4,78	3,00	24,39	3,00	9,07	3,00	16,97	3,00
1,96	4,00	21,48	4,00	13,36	4,00	11,50	4,00
2,63	5,00	13,50	5,00	12,59	5,00	16,16	5,00
1,83	6,00	16,48	6,00	17,82	6,00	20,38	6,00
1,27	7,00	18,16	7,00	10,78	7,00	17,33	7,00
3,37	8,00	17,26	8,00	15,01	8,00	13,43	8,00
1,99	9,00	24,95	9,00	8,72	9,00	12,40	9,00
1,15	10,00	21,34	10,00	11,14	10,00	13,15	10,00
2,76	11,00	28,68	11,00	18,13	11,00	14,57	11,00
1,37	12,00	23,61	12,00	21,74	12,00	26,18	12,00
0,00	13,00	11,56	13,00	9,45	13,00	14,09	13,00
0,90	14,00	23,47	14,00	14,88	14,00	14,02	14,00
2,01	15,00	22,09	15,00	8,00	15,00	19,86	15,00
2,53	16,00	16,24	16,00	11,70	16,00	13,54	16,00
2,18	17,00	11,80	17,00	13,40	17,00	7,86	17,00
3,15	18,00	12,09	18,00	7,53	18,00	19,72	18,00
3,44	19,00	17,28	19,00	15,53	19,00	6,50	19,00
1,19	20,00	20,91	20,00	21,51	20,00	13,33	20,00
1,82	21,00	14,62	21,00	16,06	21,00	13,94	21,00
1,99	22,00	11,14	22,00	14,73	22,00	12,49	22,00
1,60	23,00	22,55	23,00	14,30	23,00	20,93	23,00
1,51	24,00	14,94	24,00	11,47	24,00	11,10	24,00
3,37	25,00	14,25	25,00	10,02	25,00	8,29	25,00
3,21	26,00	18,96	26,00	8,40	26,00	8,98	26,00
3,30	27,00	13,90	27,00	7,51	27,00	15,15	27,00
5,33	28,00	19,43	28,00	11,87	28,00	16,53	28,00
2,38	29,00	20,70	29,00	9,56	29,00	13,51	29,00
2,30	30,00	20,69	30,00	10,17	30,00	8,48	30,00
		24,40	31,00	21,35	31,00	11,33	31,00

Πίνακας 19: Αποτελέσματα SO₂ μοντέλου ISC3 ανά εποχή στο λιμάνι της Σούδας.



Διάγραμμα 11: Απεικόνιση συγκέντρωσης SO₂ ανά εποχή στην περιοχή της Σούδας χρησιμοποιώντας το μοντέλο ISC3.

Σύμφωνα με το παραπάνω γράφημα, παρατηρείται ότι υπάρχει μια σταθερή σχεδόν διακύμανση όσον αφορά τον χειμώνα και χαμηλότερη συγκέντρωση συγκριτικά με τις άλλες εποχές. Το γεγονός αυτό είναι πάρα πολύ λογικό αφού τον χειμώνα υπάρχει λιγότερη διέλευση πλοίων και κρουαζιερόπλοιων. Επίσης, παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις την άνοιξη, το φθινόπωρο και το καλοκαίρι με τις μέγιστες να είναι το καλοκαίρι, ενώ την εποχή του φθινοπώρου η συγκέντρωση έχει μια φθίνουσα πορεία.

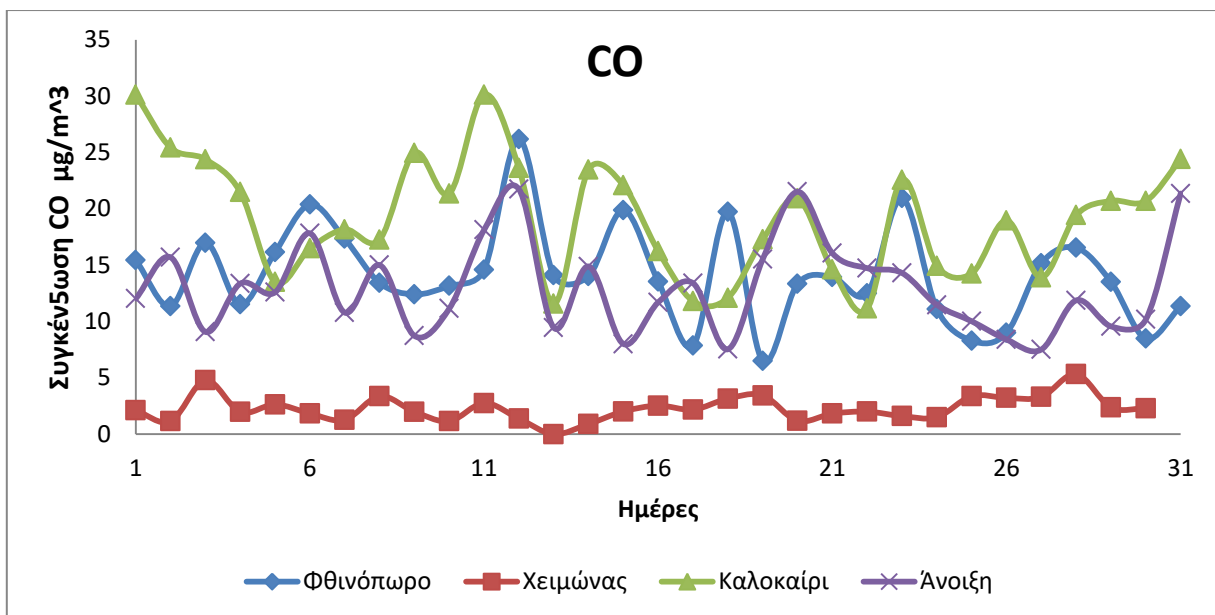
Ακόμη, παρατηρείται η μέγιστη τιμή 28,68 μg/m³ που παρουσιάζεται το καλοκαίρι, η οποία είναι αρκετά μακριά από τα όρια (125 μg/m³) που ορίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση, το οποίο είναι πολύ θετικό.

iv. Αποτελέσματα CO και διάγραμμα

Φθινόπωρο		Χειμώνας		Καλοκαίρι		Άνοιξη	
Μέση συγκέντρωση (μg/m ³)	Ημέρες	Μέση συγκέντρωση (μg/m ³)	Ημέρες	Μέση συγκέντρωση (μg/m ³)	Ημέρες	Μέση συγκέντρωση (μg/m ³)	Ημέρες
15,44	1,00	2,11	1,00	30,12	1,00	12,03	1,00
11,35	2,00	1,14	2,00	25,42	2,00	15,69	2,00

16,97	3,00	4,78	3,00	24,39	3,00	9,07	3,00
11,50	4,00	1,96	4,00	21,48	4,00	13,36	4,00
16,16	5,00	2,63	5,00	13,50	5,00	12,59	5,00
20,38	6,00	1,83	6,00	16,48	6,00	17,82	6,00
17,33	7,00	1,27	7,00	18,16	7,00	10,78	7,00
13,43	8,00	3,37	8,00	17,26	8,00	15,01	8,00
12,40	9,00	1,99	9,00	24,95	9,00	8,72	9,00
13,15	10,00	1,15	10,00	21,34	10,00	11,14	10,00
14,57	11,00	2,76	11,00	30,12	11,00	18,13	11,00
26,18	12,00	1,37	12,00	23,61	12,00	21,74	12,00
14,09	13,00	0,00	13,00	11,56	13,00	9,45	13,00
14,02	14,00	0,90	14,00	23,47	14,00	14,88	14,00
19,86	15,00	2,01	15,00	22,09	15,00	8,00	15,00
13,54	16,00	2,53	16,00	16,24	16,00	11,70	16,00
7,86	17,00	2,18	17,00	11,80	17,00	13,40	17,00
19,72	18,00	3,15	18,00	12,09	18,00	7,53	18,00
6,50	19,00	3,44	19,00	17,28	19,00	15,53	19,00
13,33	20,00	1,19	20,00	20,91	20,00	21,51	20,00
13,94	21,00	1,82	21,00	14,62	21,00	16,06	21,00
12,49	22,00	1,99	22,00	11,14	22,00	14,73	22,00
20,93	23,00	1,60	23,00	22,55	23,00	14,30	23,00
11,10	24,00	1,51	24,00	14,94	24,00	11,47	24,00
8,29	25,00	3,37	25,00	14,25	25,00	10,02	25,00
8,98	26,00	3,21	26,00	18,96	26,00	8,40	26,00
15,15	27,00	3,30	27,00	13,90	27,00	7,51	27,00
16,53	28,00	5,33	28,00	19,43	28,00	11,87	28,00
13,51	29,00	2,38	29,00	20,70	29,00	9,56	29,00
8,48	30,00	2,30	30,00	20,69	30,00	10,17	30,00
11,33	31,00			24,40	31,00	21,35	31,00

Πίνακας 20: Αποτελέσματα CO μοντέλου ISC3 ανά εποχή στο λιμάνι της Σούδας.



Διάγραμμα 12: Απεικόνιση συγκέντρωσης CO ανά εποχή στο λιμάνι της Σούδας χρησιμοποιώντας το μοντέλο ISC3.

Σύμφωνα με το παραπάνω γράφημα, παρατηρείται ότι υπάρχει μια σταθερή σχεδόν διακύμανση όσον αφορά τον χειμώνα και χαμηλότερη συγκέντρωση συγκριτικά με τις άλλες εποχές. Το γεγονός αυτό είναι πάρα πολύ λογικό αφού τον χειμώνα υπάρχει λιγότερη διέλευση πλοίων και κρουαζιερόπλοιων. Επίσης, παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις την άνοιξη, το φθινόπωρο και το καλοκαίρι με τις μέγιστες να είναι το καλοκαίρι, ενώ την εποχή του φθινοπώρου η συγκέντρωση έχει μια φθίνουσα πορεία.

Ακόμη, παρατηρείται η μέγιστη τιμή $30,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ που παρουσιάζεται το καλοκαίρι, η οποία είναι αρκετά μακριά από τα όρια ($10 \text{ mg}/\text{m}^3$) που ορίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση, το οποίο είναι πολύ θετικό.

Κεφάλαιο 7°

7.1 Διασπορά ρύπων στην περιοχή της Σούδας

Για να πραγματοποιηθεί η απεικόνιση της διασποράς των ρύπων στην οποία αναφερόμαστε, χρησιμοποιήθηκαν 2 προγράμματα τα οποία δόθηκαν από την EPA (Environmental, Protection, Agency). Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το Aloha και το Marplot.

Το Aloha και το Marplot είναι δυο προγράμματα σχεδιασμένα από την EPA (Environmental, Protection, Agency), που σκοπό έχουν την αξιολόγηση του κινδύνου μιας περιοχής που δέχεται χημικές ουσίες.

7.1.1. Aloha

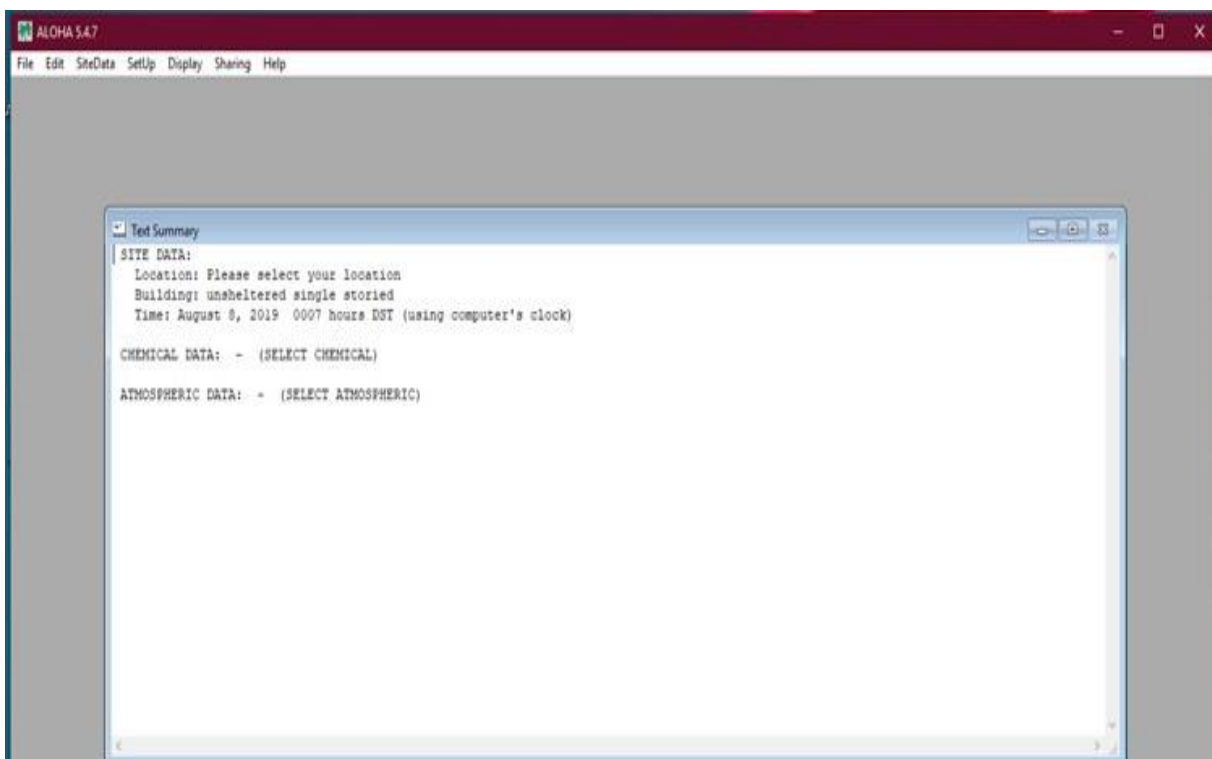
Το ALOHA (Area Locations of Hazardous Atmospheres) είναι ένα πρόγραμμα υπολογιστή ειδικά σχεδιασμένο για χρήση από ανθρώπους που ανταποκρίνονται σε χημικές εκλύσεις, καθώς και για τον σχεδιασμό και την εκπαίδευση σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

Το μοντέλο Aloha ασχολείται με βασικούς κίνδυνους τοξικότητας, ευφλεκτότητας, θερμικής ακτινοβολίας (θερμότητας) και υπερπίεσης (έκρηξη) που σχετίζονται με χημικές εκλύσεις που έχουν ως αποτέλεσμα την διασπορά τοξικών αερίων, πυρκαγιών και / ή εκρήξεων.

7.1.2. Δεδομένα εισόδου Aloha

1. Αρχικά αναφέρουμε την πόλη στην οποία λαμβάνει χώρα χημική απελευθέρωση, την ημερομηνία και την ώρα με τις εντολές: Sitedata->location->add->select και Sitedata->date and time->constant time
2. Επιλέγουμε το χημικό που απελευθερώνεται από τη βιβλιοθήκη χημικών πληροφοριών του ALOHA με τις εντολές: Setup>chemical->select
3. Εισάγουμε πληροφορίες για τις τρέχουσες καιρικές συνθήκες με τις εντολές: Setup->atmospheric-user input, wind speed, wind direction, height measurement, cloud cover, air temperature
4. Περιγράφουμε πώς εξέρχεται η χημική ουσία, και από ποιο μέσο με τις εντολές: setup->source->direct
5. Τέλος, εμφανίζουμε την ζώνη διασποράς με γραφική απεικόνιση. Η γραφική απεικόνιση χωρίζεται σε 3 ζώνες, με **κόκκινο**, **πορτοκαλί** και **κίτρινο** χρώμα. Η ζώνη ερυθρού κινδύνου αντιπροσωπεύει το χειρότερο κίνδυνο και οι πορτοκαλί και κίτρινες ζώνες απειλής αποτελούν περιοχές με μειωμένο κίνδυνο.

Το ALOHA μπορεί να εμφανίσει αυτήν την ζώνη σε έναν ηλεκτρονικό χάρτη χρησιμοποιώντας το MARPLOT®.



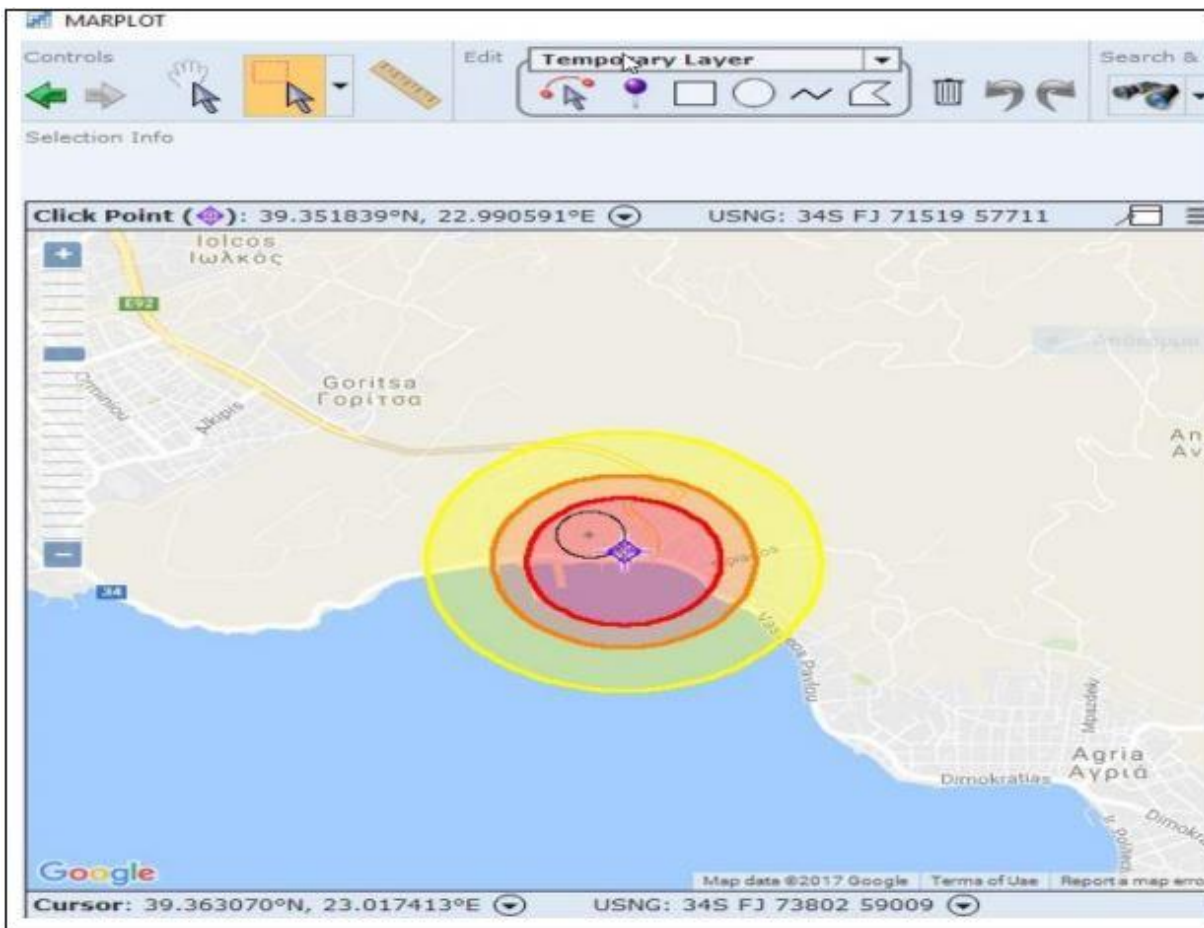
Εικόνα 15: Περιβάλλον Aloha.

7.2 Marplot

Το **MARPLOT** (Mapping Application for Response, Planning, and Local Operational Tasks) αποτελεί ένα λογισμικό εργαλείο που αναπτύχθηκε από την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (**EPA**) και την Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (**NOAA**) των Ηνωμένων Πολιτειών για να βοηθήσει στην αντιμετώπιση των BAME (Βιομηχανικό Ατύχημα Μεγάλης Έκτασης), έτσι ώστε ο ενδιαφερόμενος χρήστης να έχει πρόσβαση, να αποθηκεύει και να αξιολογεί πληροφορίες ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη σχεδίων έκτακτης ανάγκης. Το λογισμικό ALOHA μπορεί να δημιουργήσει τις ζώνες προστασίας που συνδέονται με διάφορους τύπους ατυχημάτων σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, συμπεριλαμβανομένων των τοξικών νεφών αερίου, πυρκαγιές και εκρήξεις. Αυτές οι Ζώνες προστασίας μπορούν να αποτυπωθούν σε συνδυασμό με το λογισμικό MARPLOT σε χάρτες. Το λογισμικό MARPLOT δίνει την δυνατότητα στον χρήστη αποτύπωσης των ζωνών προστασίας χάρτες ArcMap Esri, Google Earth και Google Maps. Οι χρήστες επίσης μπορούν να προσθέσουν τις πληροφορίες που εμφανίζονται στο χάρτη εισάγοντας τα δικά τους αντικείμενα (όπως βιομηχανικές εγκαταστάσεις, σχολεία, νοσοκομεία, κ.λπ.) από άλλες πηγές. Επιπλέον, οι περιοχές που έχουν μολυνθεί από ένα σενάριο BAME (Βιομηχανικό Ατύχημα Μεγάλης Έκτασης), μπορούν να εμφανιστούν στους χάρτες για τον προσδιορισμό των πιθανών επιπτώσεων, βοηθώντας στην λήψη σχετικών αποφάσεων.

Το Marplot είναι μια γενική εφαρμογή χαρτογράφησης ,χρησιμοποιείται για τη δημιουργία, προβολή και τροποποίηση χαρτών, συνδέει αντικείμενα με δεδομένα σε άλλα προγράμματα και χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το Aloha.

Ανοίγοντας το Marplot (Εικόνα 16), επιλέγεται η περιοχή που θέλουμε να ασχοληθούμε, έπειτα εισάγονται οι πληροφορίες σε αυτό μέσω του Aloha και εμφανίζονται στον χάρτη.



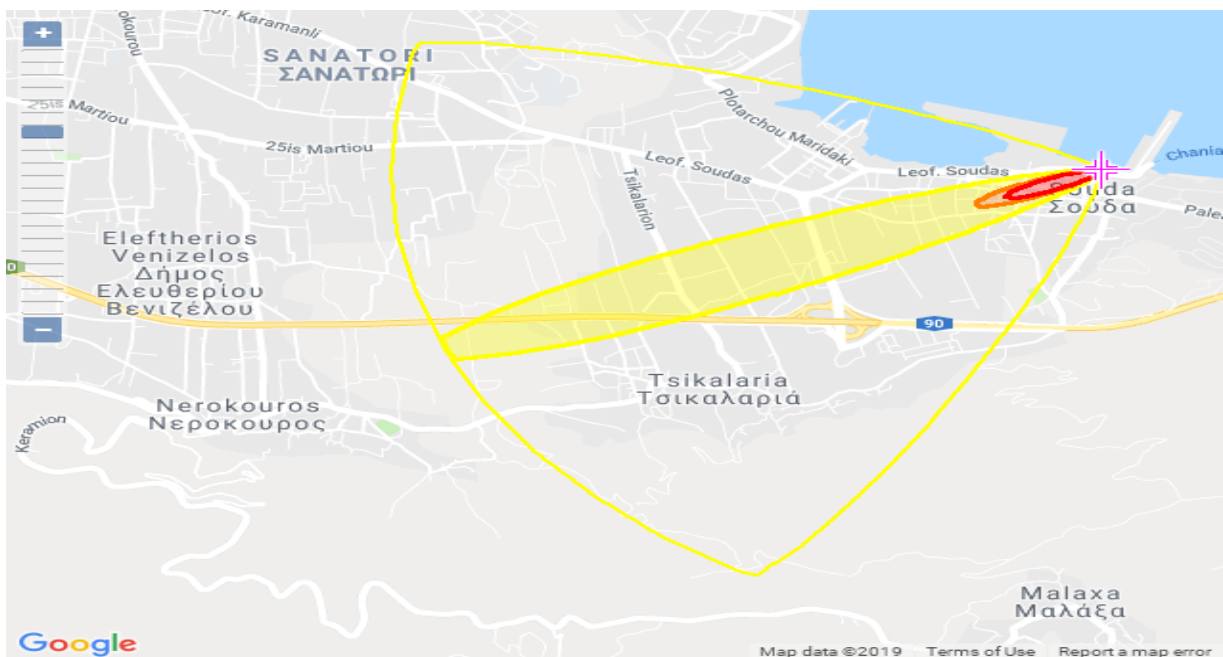
Εικόνα 16: Περιβάλλον Marplot (πηγή: <https://www.epa.gov/cameo/marplot-software>).

Στην συγκεκριμένη μελέτη, τα πλοία αντιμετωπίστηκαν σαν άμεση πηγή εκπομπών αερίων. Το ύψος της πηγής ήταν σύμφωνα με το ύψος της καμινάδας των πλοίων. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα κτίρια που βρίσκονται στην περιοχή δεν λήφθηκαν υπόψη αλλά ούτε το ανάγλυφο της περιοχής.

7.3. Διασπορά NO₂

Χρώμα εικονιζόμενης περιοχής	Συγκέντρωση ρύπου NO ₂ μg/m ³
Κίτρινο	11,14
Πορτοκαλί	19,44
Κόκκινο	45,63

Πίνακας 21: Συγκεντρώσεις NO₂ σύμφωνα με το χρώμα της εικονιζόμενης περιοχής.



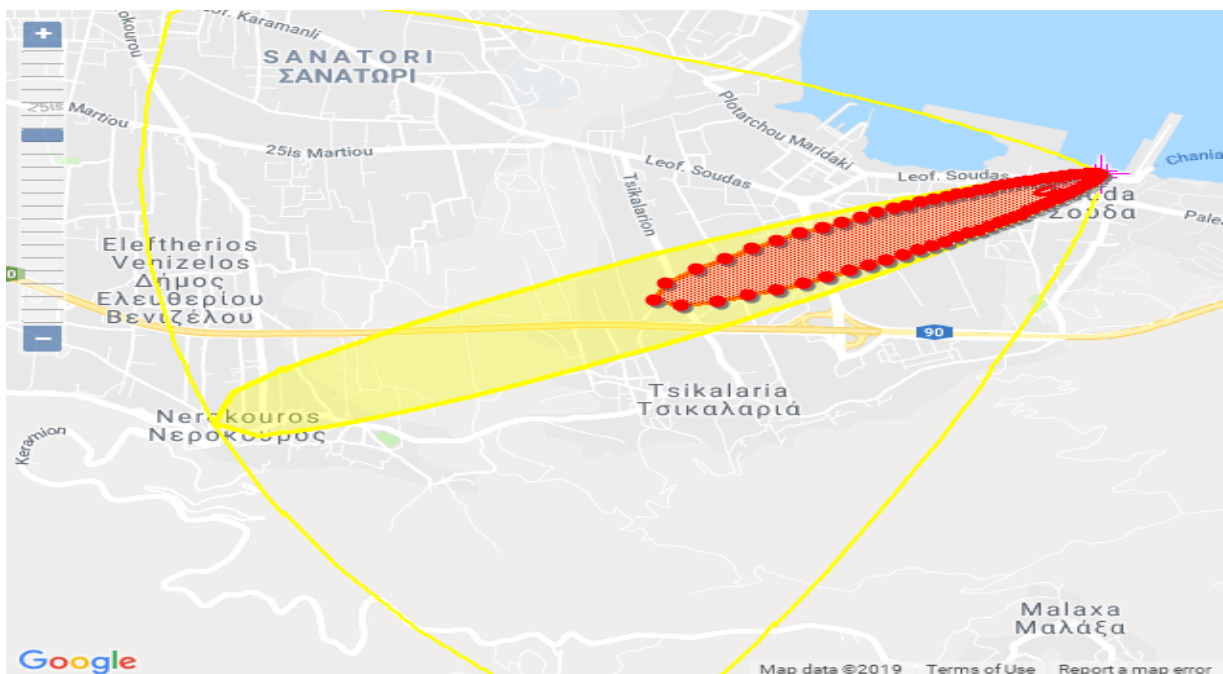
Εικόνα 17: Διασπορά NO₂ στην περιοχή της Σούδας.

Παρατηρείται ότι με κατεύθυνση ανέμου ανατολικού βόρειου ανατολικού τα NO_x εξαπλώνονται σχεδόν σε όλη την περιοχή της Σούδας αλλά και στα περίχωρα. Η ρύπανση φτάνει μέχρι και την περιοχή των Τσικαλαριών. Εάν ο άνεμος είναι αντίθετος δηλαδή δυτικός τότε ο ρύπος εξαπλώνεται προς την θάλασσα.

7.4 Διασπορά SO₂

Χρώμα εικονιζόμενης περιοχής	Συγκέντρωση ρύπου SO ₂ μg/m ³
Κίτρινο	6,5
Πορτοκαλί	14,15
Κόκκινο	28,68

Πίνακας 22: Συγκεντρώσεις SO₂ σύμφωνα με το χρώμα της εικονιζόμενης περιοχής.



Εικόνα 18: Διασπορά SO_2 στην περιοχή της Σούδας.

Το ίδιο συμβαίνει και με τα SO_2 όπου ο ρύπος φτάνει μέχρι και την περιοχή Νεροκούρου.

7.5. Διασπορά PM_{10}

Χρώμα εικονιζόμενης περιοχής	Συγκέντρωση ρύπου PM_{10} $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Κίτρινο	7,84
Πορτοκαλί	17
Κόκκινο	34,86

Πίνακας 23: Συγκεντρώσεις PM σύμφωνα με το χρώμα της εικονιζόμενης περιοχής.



Εικόνα 19: Διασπορά PM_{10} στην περιοχή της Σούδας.

Τέλος όσον αφορά την διασπορά των PM, τα σωματίδια διασπείρονται μέχρι και πριν την περιοχή των Τσικαλαριών.

Κεφάλαιο 8°

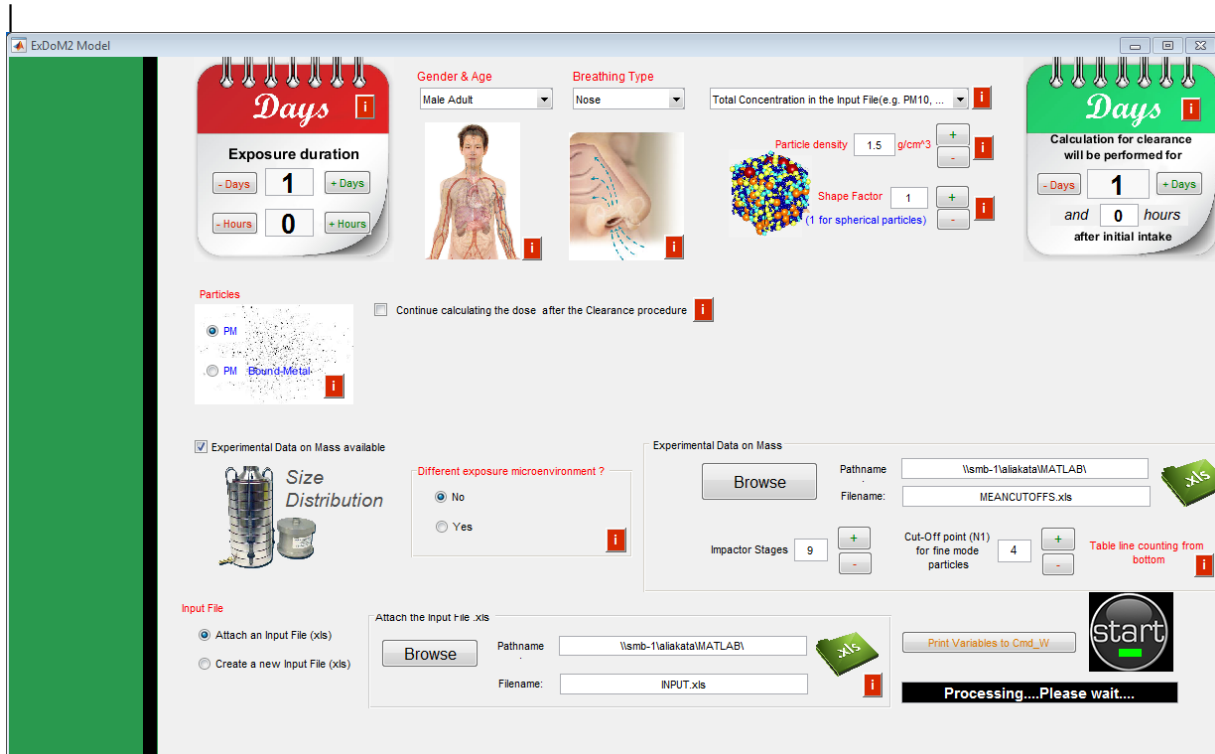
8.1. Μοντέλο ExDoM 2

Για τον υπολογισμό της δόσης έκθεσης αλλά και της κατακράτησης αιωρούμενων σωματιδίων στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο ExDoM 2. Το συγκεκριμένο μοντέλο βασίζεται στο προγενέστερο μοντέλο ExDoM που αναπτύχθηκε στο Πολυτεχνείο Κρήτης (Chalvatzaki, Alexandropoulou, & Lazaridis 2014).

Η εναπόθεση των σωματιδίων στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα υπολογίζεται με την βοήθεια των ημιεμπειρικών εξισώσεων που προτείνονται στο μοντέλο του αναπνευστικού συστήματος (HRTM) της διεθνούς υπηρεσίας ακτινοπροστασίας (ICRP, 2015).

Το μοντέλο ExDoM 2 υπολογίζει την εναπόθεση στα διάφορα μέρη του αναπνευστικού συστήματος, στην περιοχή των πνευμόνων, στο αίμα αλλά και εκτός θωρακικής περιοχής (ρινική κοιλότητα, λάρυγγας, φάρυγγας και στόμα). Επίσης, είναι δυνατόν να υπολογίσει την εναπόθεση τόσο για τα χονδρά όσο και για τα λεπτά σωματίδια. Το μοντέλο δίνει τη δυνατότητα επιλογής στον χρήστη διαφόρων μεταβλητών βάσει των οποίων αλλάζει η εναπόθεση των αιωρούμενων σωματιδίων (φύλλο, ηλικία, τρόπος αναπνοής κ.ά.).

Αξίζει να σημειωθεί ότι το γραφικό περιβάλλον εργασίας του μοντέλου ExDoM 2 έχει σχεδιαστεί από τον κ. Παπαγιαννάκη Εμμανουήλ, είναι ιδιαίτερα φιλικό προς τον χρήστη αλλά και κατανοητό. Για την λειτουργία του απαιτείται το περιβάλλον Matlab και χρησιμοποιεί αρχεία excel για την κατανομή μεγέθους σωματιδίων αλλά και για τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων.



Εικόνα 20: Το περιβάλλον εργασίας του ExDoM 2 για εισαγωγή δεδομένων μάζας αιωρούμενων σωματιδίων.

8.2 Αποτελέσματα μοντέλου ExDoM 2

Το μοντέλο ExDoM 2 χρησιμοποιήθηκε για περίπτωση ενήλικα άνδρα, για ελαφριά δραστηριότητα, για 1 ημέρα χρησιμοποιώντας την κατανομή των αιωρούμενων σωματιδίων από την περιοχή του Ακρωτηρίου. Τέλος, υπολογίστηκε η εναπόθεση μόνο για χονδρά σωματίδια PM₁₀ χρησιμοποιώντας τις συγκεντρώσεις που υπολογίστηκαν από το μοντέλο ISC3 για τους καλοκαιρινούς μήνες.

Τα αποτελέσματα εναπόθεσης δόθηκαν από τα εξής μέρη του σώματος:

ET1: Extra Thoracic region 1; Εκτός θώρακα περιοχή 1. Περιλαμβάνει την πρόσθια ρινική κοιλότητα

ET2: Extra Thoracic region 1; Περιλαμβάνει την ύστερη ρινική κοιλότητα, τον λάρυγγα, τον φάρυγγα και το στόμα.

BB:Bronchial region; Περιοχή βρόγχων των πνευμόνων

bb:Bronchiolar region; Περιοχή βρογχιολίων των πνευμόνων

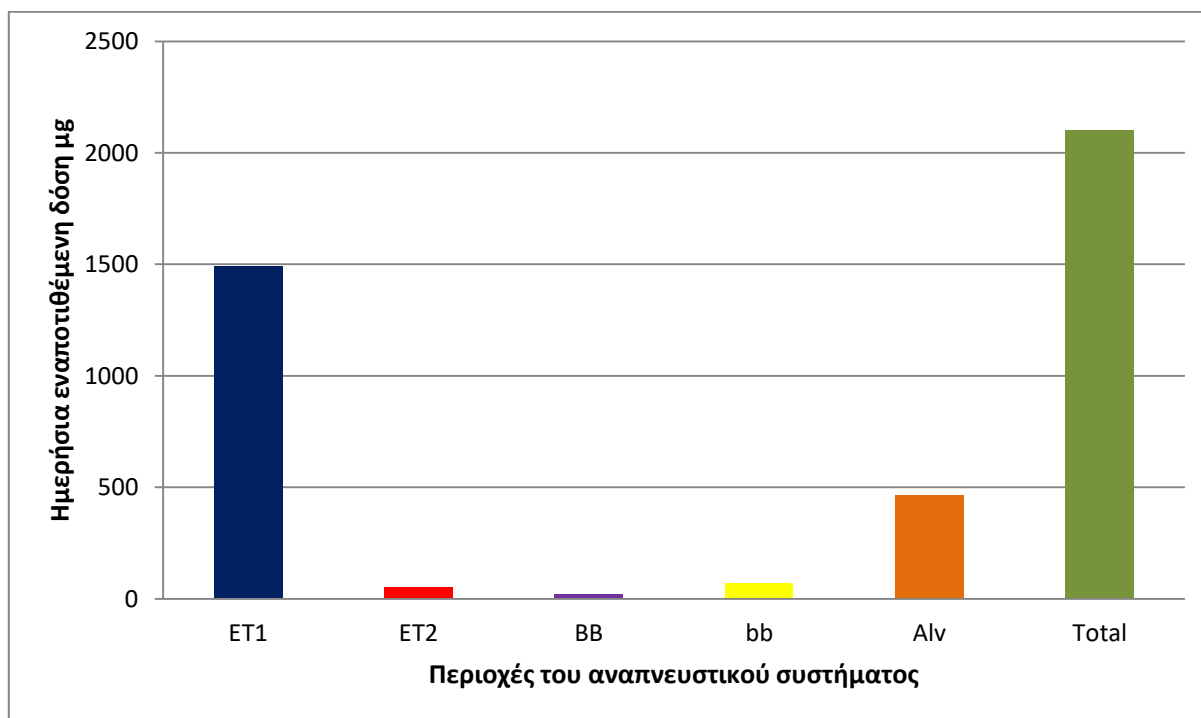
Alv: Alveolar-Interstitial region; Κυψελιδική περιοχή των πνευμόνων

GI track: Gastro Intestine region; γαστρεντερικό σύστημα

LNth: λεμφαδένες στην θωρακική περιοχή

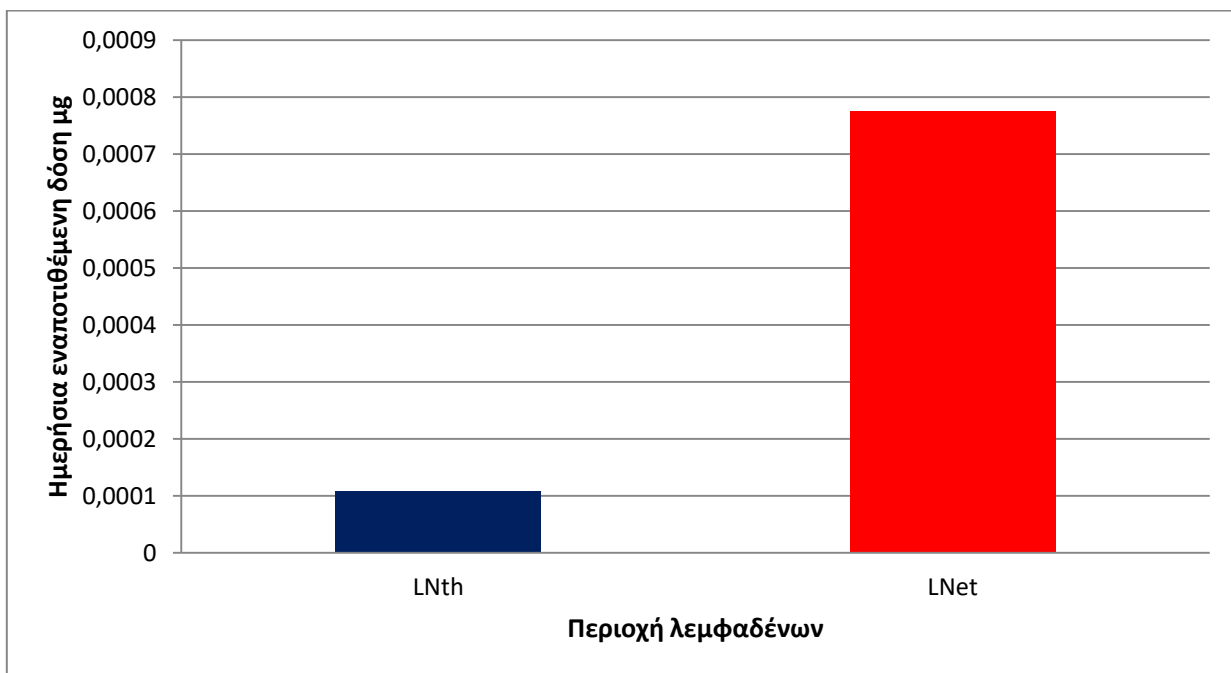
LNet: λεμφαδένες εκτός θωρακικής περιοχής

Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα με τα αποτελέσματα από το μοντέλο ExDoM2 σε συνάρτηση με την ποσότητα της δόσης σε μg .



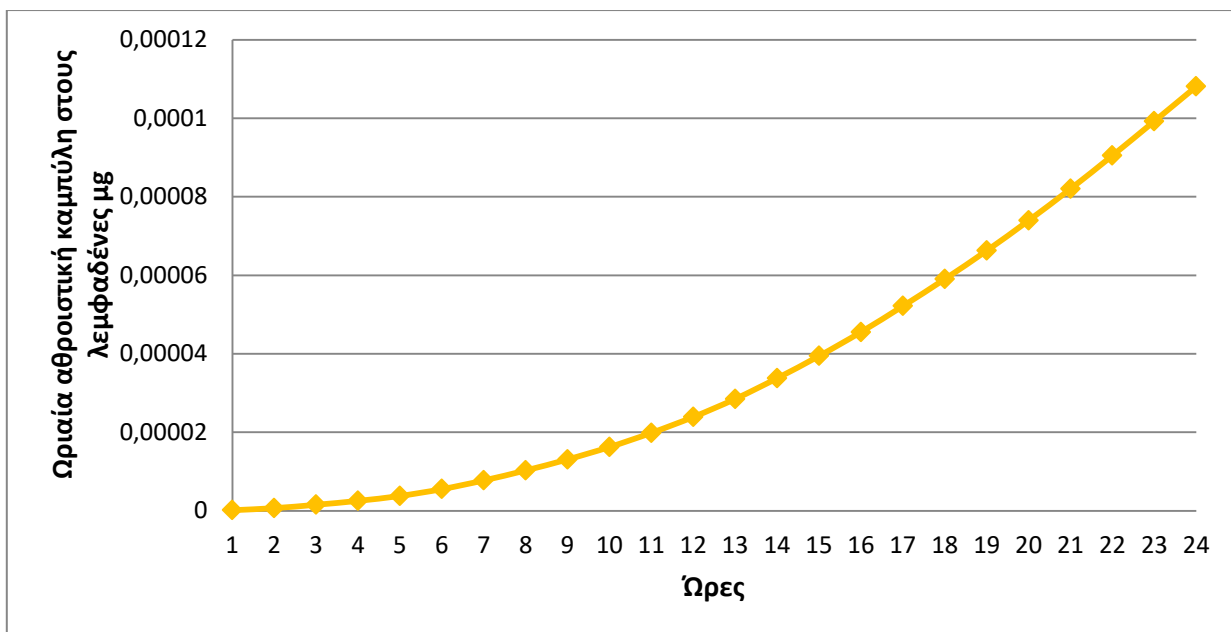
Διάγραμμα 13: Ημερήσια εναποτιθέμενη δόση ενήλικα άνδρα στο αναπνευστικό σύστημα.

Παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη εναπόθεση βρίσκεται στην ET1 εκτός θώρακα ρινική κοιλότητα. Εάν ληφθεί υπόψη ότι η αναπνοή γίνεται από την μύτη, όπως και έχει επιλεγεί στο μοντέλο, η πρώτη “δικλείδα ασφαλείας” για τον ανθρώπινο οργανισμό, είναι τα τριχίδια της μύτης όπου μπορούν να συγκρατήσουν PM και να εμποδίσουν την εισχώρηση αυτών στην εντός θώρακος περιοχή. Ακόμη, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το φαινόμενο της πρόσκρουσης των αιωρούμενων σωματιδίων όπου, τα σωματίδια δεν μπορούν να ακολουθήσουν τις γραμμές ροής όταν αυτές αλλάζουν απότομα κατεύθυνση και εναποτίθενται στα τοιχώματα των αεραγωγών. Η αμέσως επόμενη μεγαλύτερη εναπόθεση είναι αυτής της κυψελιδικής περιοχής Alv. Αμέσως μετά την εισχώρηση από την ET1, τα PM όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, κατευθύνονται προς την κυψελιδική περιοχή στην περιοχή των πνευμόνων αφού πρώτα έχουν περάσει από την περιοχή των βρόγχων. Αυτός είναι ένας από τους μηχανισμούς αναπνοής του ανθρώπινου οργανισμού όπου, με την εισπνοή ο ατμοσφαιρικός αέρας συμπεριλαμβανομένων και των αιωρούμενων σωματιδίων κατευθύνεται στις κυψελίδες και από εκεί στο αίμα μέσω των περιβαλλόμενων αιμοφόρων αγγείων. Επομένως είναι απολύτως λογικό στην περιοχή των βρόγχων και των βρογχιολίων η εναποτιθέμενη δόση να είναι μικρή καθώς τα PM δεν εναποτίθενται εκεί αλλά στις κυψελίδες. Επίσης, μία ακόμα αιτία εναπόθεσης στην κυψελιδική περιοχή είναι το φαινόμενο της διάχυσης όπου προκαλείται από την κίνηση Brown και είναι ο μηχανισμός εναπόθεσης σωματιδίων λόγω της σύγκρουσης με μόρια αέρα. Αυξημένη εναπόθεση σωματιδίων λόγω διάχυσης παρατηρείται κυρίως στην κυψελιδική περιοχή.



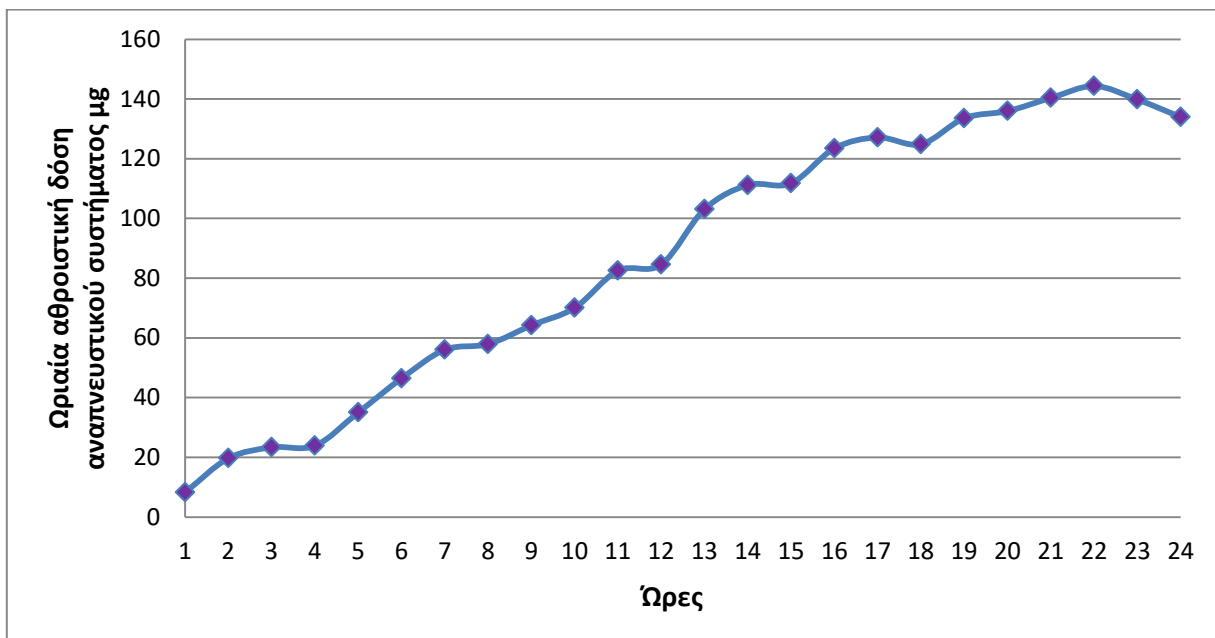
Διάγραμμα 14: Ημερήσια εναποτιθέμενη δόση ενήλικα άνδρα στην περιοχή των λεμφαδένων.

Παρατηρείται μεγαλύτερη εναπόθεση στην εκτός θώρακα περιοχή των λεμφαδένων συγκριτικά με την εντός θώρακα περιοχή. Έτσι σύμφωνα και με το Διάγραμμα 13, στην εκτός θώρακα περιοχή υπάρχει μεγαλύτερη εναπόθεση. Αυτό συμβαίνει λόγω του φαινομένου της πρόσκρουσης των αιωρούμενων σωματιδίων όπου, τα σωματίδια δεν μπορούν να ακολουθήσουν τις γραμμές ροής όταν αυτές αλλάζουν απότομα κατεύθυνση και εναποτίθενται στα τοιχώματα των αεραγωγών και έτσι εναποτίθενται και στους λεμφαδένες της εκτός θώρακα περιοχής.



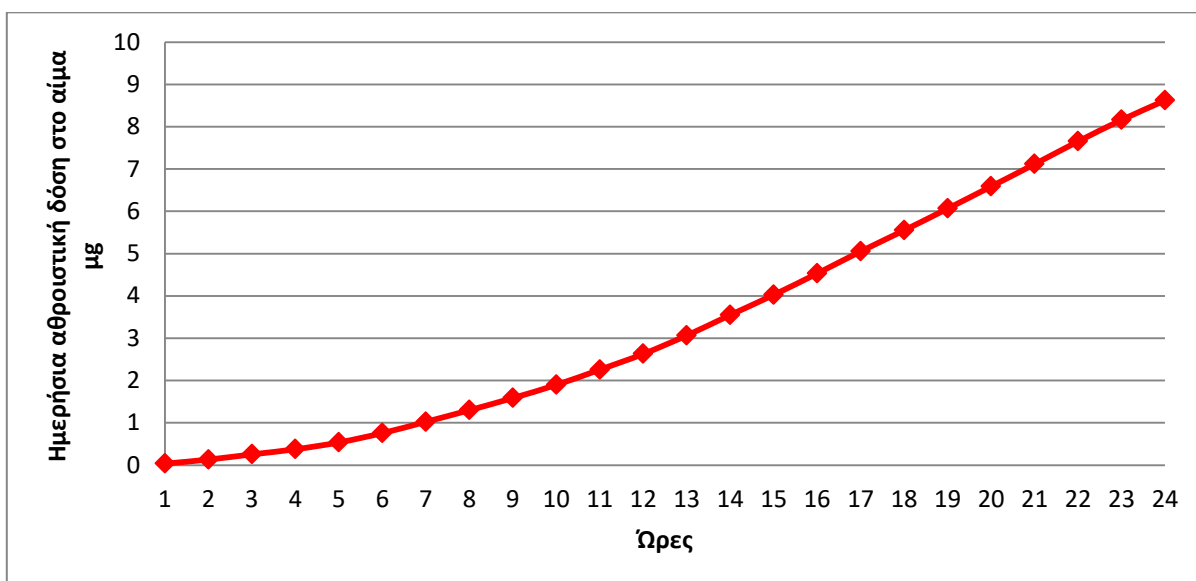
Διάγραμμα 15: Ωριαία αθροιστική δόση στην περιοχή των λεμφαδένων.

Παρατηρείται εκθετική αύξηση της αθροιστικής δόσης στην περιοχή των λεμφαδένων. Αυτό συμβαίνει διότι κατά την εισαγωγή των παραμέτρων και δεδομένων του μοντέλου ExDoM2 επιλέχθηκε η δραστηριότητα 3 (ελαφριά δραστηριότητα). Που σημαίνει ότι ο ενήλικας άνδρας που επιλέχθηκε ήταν εκτεθειμένος 24 ώρες σε PM και ότι ο οργανισμός δεν προλαβαίνει να απομακρύνει άμεσα τα PM.

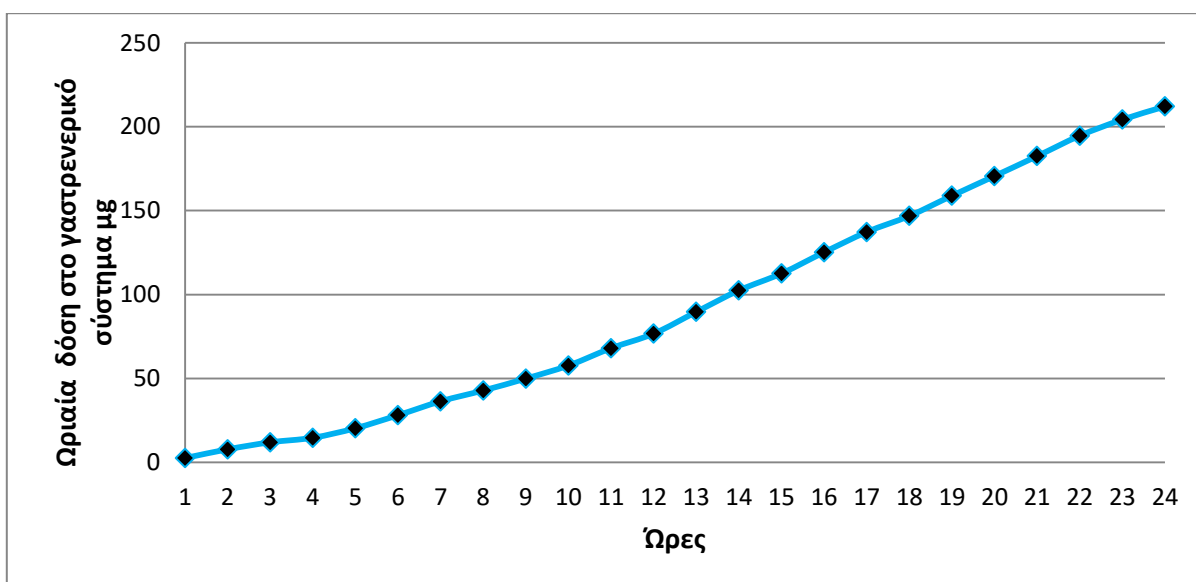


Διάγραμμα 16: Ωριαία αθροιστική δόση στο αναπνευστικό σύστημα.

Παρατηρείται καμπύλη αύξησης της αθροιστικής δόσης από την 1:00 το πρωί μέχρι τις 24:00 το βράδυ. Για τον ίδιο λόγο του Διαγράμματος 15, έτσι και στο παραπάνω διάγραμμα ο ενήλικας άνδρας είναι εκτεθειμένος 24 ώρες σε PM. Ο οργανισμός δεν προλαβαίνει να απομακρύνει άμεσα τα PM.



Διάγραμμα 17: Ωριαία δόση στο αίμα.

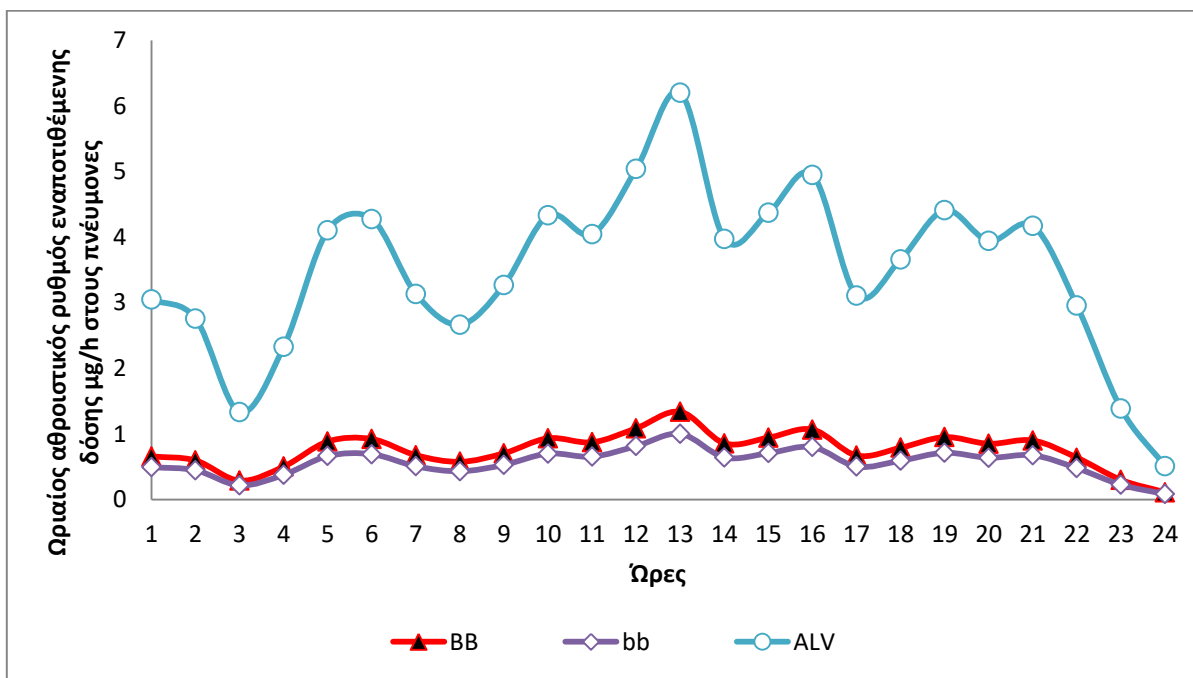


Διάγραμμα 18: Ωριαία δόση στο γαστρεντερικό σύστημα.

Παρατηρείται στα Διαγράμματα 17 και 18 εκθετική αύξηση της δόσης των αιωρούμενων σωματιδίων στο αίμα αλλά και στο γαστρεντερικό σύστημα. Το αίμα και το γαστρεντερικό σύστημα είναι δύο παράμετροι που βοηθούν στην απομάκρυνση των σωματιδίων.

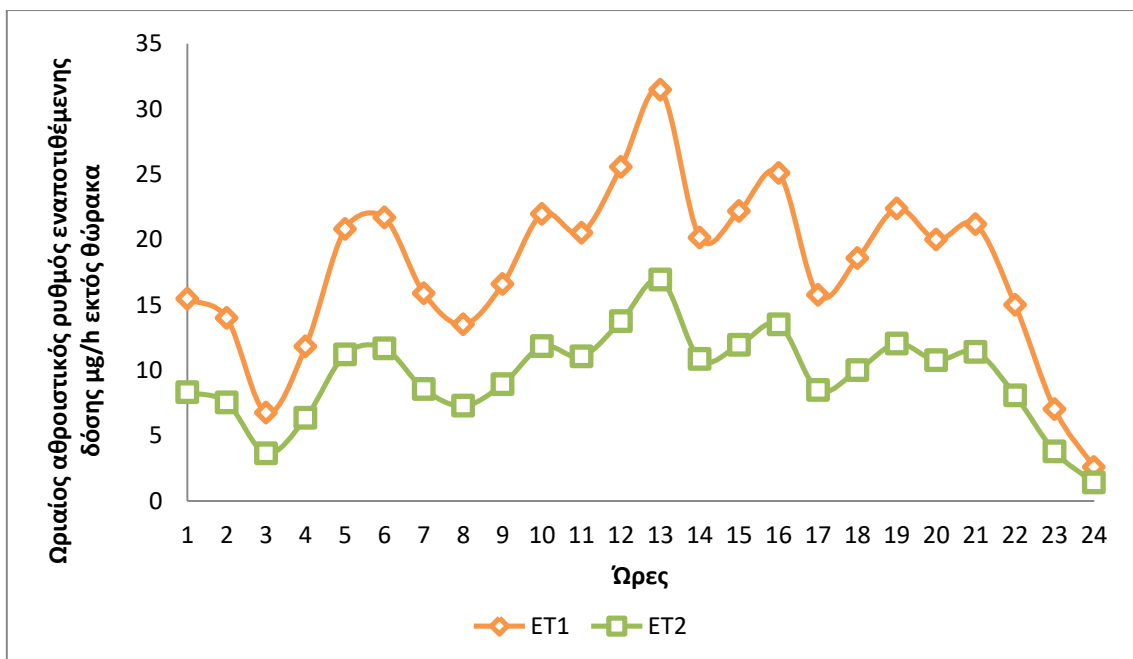
Επομένως, συμπεραίνεται ότι όσο περνά η ώρα τόσο τα σωματίδια θα κατευθύνονται είτε προς το αίμα μέσω των κυψελίδων είτε προς το γαστρεντερικό σύστημα μέσω της βλέννας. Παρατηρείται επίσης ότι η μέγιστη τιμή στο αίμα είναι 8,62 μg ενώ στο γαστρεντερικό σύστημα 212 μg . Αυτό συμβαίνει διότι το αίμα έχει μηχανισμούς απορρόφησης-απομάκρυνσης των σωματιδίων όπου περιλαμβάνει: α) τη διάλυση (dissolution) των σωματιδίων σε συστατικά που μπορούν να απορροφηθούν στο αίμα και την (β) ανάληψη/πρόσληψη (uptake) αυτών των συστατικών στο αίμα.

Εν συνέχεια κατασκευάστηκαν διαγράμματα με τον ρυθμό της δόσης ($\mu\text{g}/\text{h}$)



Διάγραμμα 19: Ωριαίος αθροιστικός ρυθμός δόσης στην περιοχή των πνευμόνων.

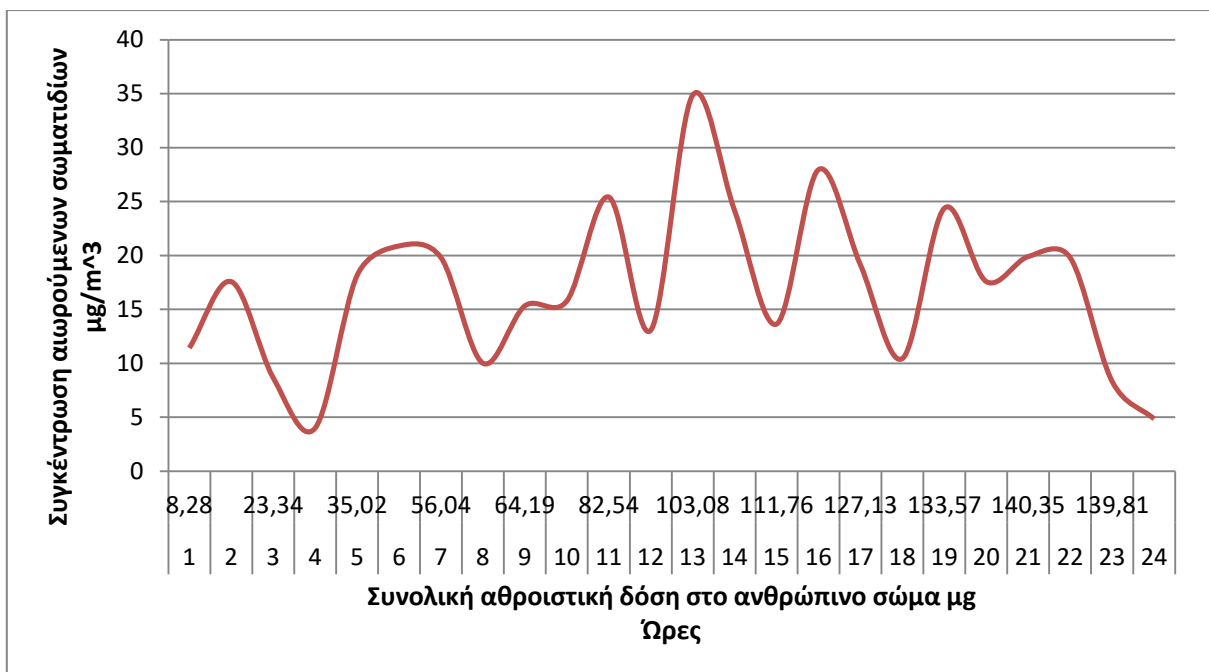
Παρατηρείται ότι ο ωριαίος αθροιστικός ρυθμός δόσης για τους BB (βρόγχους) και bb (βρογχιόλια) είναι σχεδόν σταθερός χωρίς να αυξάνεται ούτε μειώνεται δραματικά στο διάστημα των 24 ωρών. Σε αντίθεση με την περιοχή των κυψελίδων όπου παρατηρείται μία βαθμιαία αύξηση που ακολουθείται από μείωση στο τέλος του 24ώρου. Αυτό συμβαίνει διότι μέσω των κυψελίδων τα σωματίδια μεταφέρονται στο αίμα και κάποια καθιζάνουν. Έτσι μετά την αύξηση του ρυθμού και την εναπόθεση των σωματιδίων στις κυψελίδες, περνούν στο αίμα και μειώνεται ο ρυθμός δόσης μέχρι που αυξάνεται ξανά. Επίσης, συμπεραίνεται για ακόμη μία φορά η τάση των σωματιδίων να συγκεντρώνονται στις κυψελίδες και όχι στους βρόγχους και βρογχιόλια. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως στο τέλος του 24ώρου ο ρυθμός δόσης μειώνεται σε όλες τις περιοχές των πνευμόνων, αυτό συμβαίνει διότι μεγάλο ποσοστό αυτών έχουν μεταφερθεί στο αίμα προς την απομάκρυνσή τους.



Διάγραμμα 20: Ωριαίος αθροιστικός ρυθμός δόσης στην εκτός θώρακα περιοχή.

Παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη εναπόθεση βρίσκεται στην ET1 εκτός θώρακα ρινική κοιλότητα. Όπως προαναφέρθηκε και στο Διάγραμμα 13, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το φαινόμενο της πρόσκρουσης των αιωρούμενων σωματιδίων όπου, τα σωματίδια δεν μπορούν να ακολουθήσουν τις γραμμές ροής όταν αυτές αλλάζουν απότομα κατεύθυνση και εναποτίθενται στα τοιχώματα των αεραγωγών. Έτσι, κάποια από αυτά δεν εισχωρούν προς την περιοχή ET2. Επίσης, παρατηρείται ότι στο τέλος του 24ώρου ο ρυθμός δόσης μειώνεται σε όλες τις περιοχές της εκτός θωρακικής περιοχής, αυτό συμβαίνει διότι μεγάλο ποσοστό αυτών έχουν μεταφερθεί στο γαστρεντερικό σύστημα με την κατάποση.

Τέλος, κατασκευάστηκε διάγραμμα με βάση την συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων και την ποσότητα της δόσης.



Διάγραμμα 21: Συνολική ωριαία αθροιστική εναποτιθέμενη δόση µg σε συνάρτηση με την συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ (µg/m³).

Παρατηρείται μία βαθμιαία ανοδική αύξηση της εναποτιθέμενης δόσης στο ανθρώπινο σώμα σε συνάρτηση με την συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων. Αυτό συμβαίνει διότι, όταν αυξάνεται η συγκέντρωση αυξάνεται και η δόση, όμως όταν η συγκέντρωση μειώνεται η δόση παραμένει στα ίδια επίπεδα με πριν καθώς ο ανθρώπινος οργανισμός έχει δεχθεί κάποια ποσότητα σωματιδίων και δεν έχει προλάβει να την απομακρύνει στην διάρκεια μίας ώρας. Συμπεραίνεται ότι, οι μηχανισμοί απομάκρυνσης είναι αρκετά αργοί κάτι που οφείλεται και στην 24ωρη έκθεση του ενήλικα άνδρα σε ελαφριά δραστηριότητα σε εξωτερικό χώρο όπου υπάρχουν PM.

Κεφάλαιο 9°

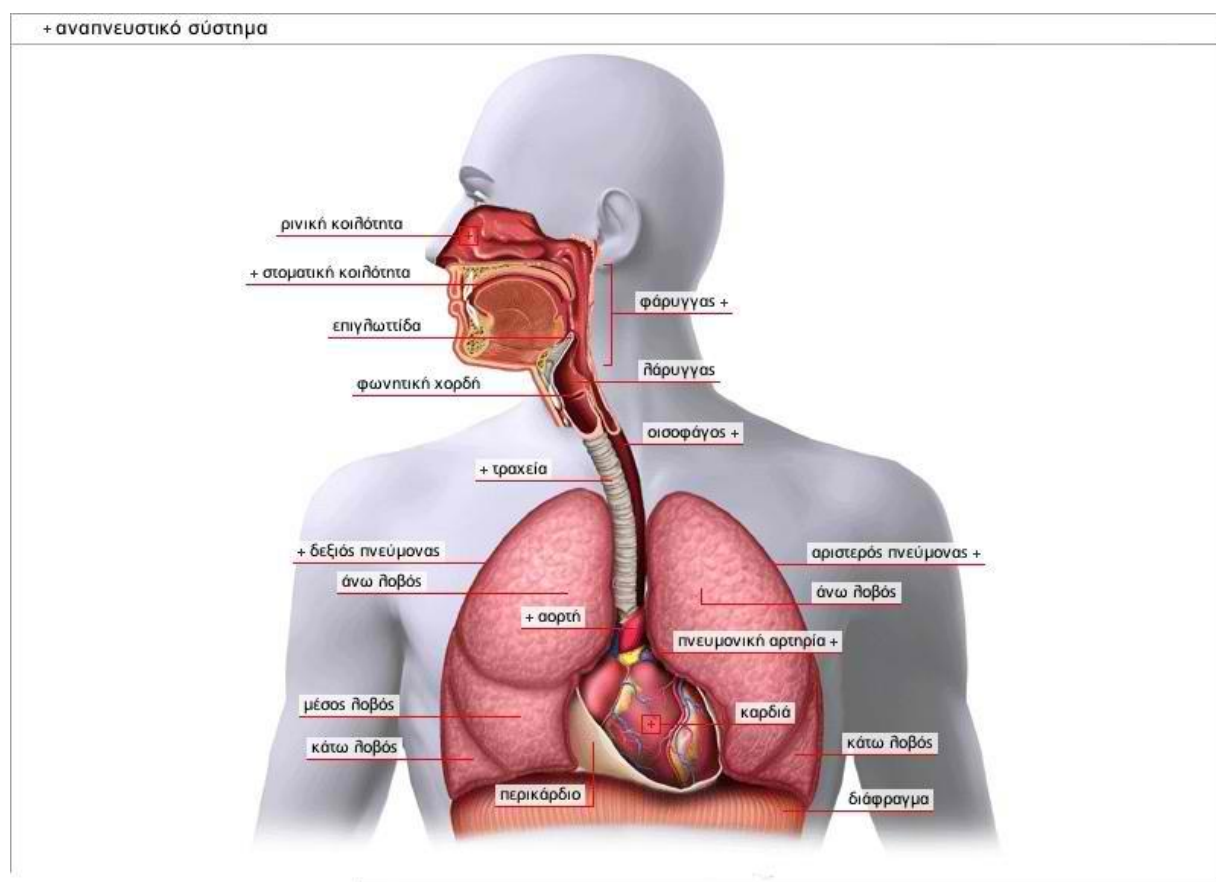
9.1. Επιπτώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία του ανθρώπου

Τα τελευταία χρόνια, διαφαίνεται σταδιακά μια ομοφωνία μεταξύ των ειδικών σε ζητήματα δημόσιας υγείας. Είναι κοινά αποδεκτό ότι η αέρια ρύπανση επιτείνει τη νοσηρότητα (ειδικά σε καρδιαγγειακές και αναπνευστικές παθήσεις) και είναι δυνατό να οδηγήσει σε μείωση του προσδόκιμου βίου (π.χ. Dockery and Pope, 2006; Hurley et al., 2005; Katsouyanni et al., 2001; Kunzli et al., 2000). Η προαναφερθείσα ομοφωνία βασίζεται στις επιδημιολογικές μελέτες της τελευταίας εικοσαετίας, τόσο στην Ευρώπη, όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο, οι οποίες καταμετρούν αυξήσεις στη θνησιμότητα, αλλά και στη νοσηρότητα που σχετίζονται με την αέρια ρύπανση. Ορισμένες επιπτώσεις είναι δυνατό να σχετίζονται με τη βραχυχρόνια έκθεση, ενώ άλλες λογίζονται αντίστοιχα ως επιπτώσεις μακροχρόνιας έκθεσης. Παρόλο που οι μηχανισμοί με τους οποίους οι ρύποι επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία δεν είναι πλήρως κατανοητοί, όπως επίσης και οι συνέργειες μεταξύ των ρύπων αποτελούν αντικείμενο

συνεχούς μελέτης, οι περισσότερες πρόσφατες επιστημονικές έρευνες κατέδειξαν τα ΡΜ ως τον κύριο «ένοχο» που θέτει σε κίνδυνο τη δημόσια υγεία. Η συγκέντρωση όλο και περισσότερο απτών αποδείξεων και τεκμηριωμένων επιστημονικών μελετών, που αφορούν στις δυσμενείς επιδράσεις της αέριας ρύπανσης στη δημόσια υγεία, έχει οδηγήσει κυβερνήσεις και άλλους αρμόδιους φορείς σε παγκόσμιο επίπεδο στη χρήση δεδομένων επιδημιολογικών μελετών για την ενίσχυση της λήψης αποφασεοφάσεων με τη χρήση ποσοτικών εκτιμήσεων των επιπτώσεων.

9.1.1 Αναπνευστικό σύστημα

Οι ρύποι εισέρχονται στον οργανισμό μέσω της εισπνοής, της κατάποσης και της δερματικής επαφής. Η εισπνοή αποτελεί την κυρίαρχη οδό έκθεσης σε ΡΜ, ιδιαίτερα στο εργασιακό περιβάλλον. Το αναπνευστικό σύστημα αποτελείται από το ανώτερο και το κατώτερο αναπνευστικό σύστημα.



Εικόνα 21: Δομή αναπνευστικού συστήματος. (Πηγή: pediagnosi.gr)

9.2. Όργανα αναπνευστικού συστήματος

Τα όργανα που σχηματίζουν το αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου είναι η μύτη (ή ρίνα, από το αρχαίο ρίς-ρινός), ο ρινοφάρυγγας, ο λάρυγγας, η τραχεία, οι βρόγχοι και οι πνεύμονες. Τα όργανα του αναπνευστικού υπάρχουν στο κεφάλι, στο λαιμό και στο θώρακα. Οι ανατομικοί αυτοί σχηματισμοί συμμετέχουν επίσης στη λειτουργία του αναπνευστικού συστήματος.

Η μύτη, ο ρινοφάρυγγας και ο λάρυγγας αποτελούν την ανώτερη αναπνευστική οδό ή ανώτερο αναπνευστικό σύστημα, ενώ η τραχεία και οι βρόγχοι την κατώτερη αναπνευστική οδό. Οι πνεύμονες είναι το κατ' εξοχήν όργανο της ανταλλαγής των αερίων, όπου ο αέρας έρχεται σε άμεση επαφή με το αίμα, ενώ τα υπόλοιπα όργανα απαρτίζουν τους αεραγωγούς.

9.2.1. Μηχανισμοί εναπόθεσης αιωρούμενων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα

Με τον όρο εναπόθεση σωματιδίων αναφέρεται η απομάκρυνση των σωματιδίων από την αέρια φάση (αιωρούμενη κατάσταση) και η μεταφορά (την προσκόλληση) τους στα τοιχώματα των αεραγωγών του αναπνευστικού συστήματος μέσω διαφόρων μηχανισμών εναπόθεσης.

Οι πιο σημαντικοί μηχανισμοί εναπόθεσης αιωρούμενων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα είναι (Hussain, 2011): Πρόσκρουση (Impaction): Τα σωματίδια δεν μπορούν να ακολουθήσουν τις γραμμές ροής όταν αυτές αλλάζουν απότομα κατεύθυνση και εναποτίθενται στα τοιχώματα των αεραγωγών. Αυτός ο μηχανισμός παρατηρείται στη ρινοφάρυγγική και τραχειοβρογχική περιοχή ,Καθίζηση (Sedimentation): Η καθίζηση προκαλείται από τη βαρύτητα. Όταν η επίδραση της βαρύτητας είναι μεγαλύτερη της αντίστασης του αέρα τα σωματίδια εγκαταλείπουν τις γραμμές ροής και καθιζάνουν. Αυτός ο μηχανισμός παρατηρείται στα βρογχιόλια και στην κυψελιδική περιοχή και Διάχυση (Diffusion): Η διάχυση προκαλείται από την κίνηση Brown και είναι ο μηχανισμός εναπόθεσης σωματιδίων λόγω της σύγκρουσης με μόρια αέρα. Αυξημένη εναπόθεση σωματιδίων λόγω διάχυσης παρατηρείται κυρίως στην κυψελιδική περιοχή.

9.2.2 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

Δεκάδες έρευνες σε όλο τον κόσμο ενοχοποιούν τα μικροσωματίδια όχι μόνο για την αύξηση της θνησιμότητας, αλλά και για σημαντικές μακροχρόνιες βλάβες στην υγεία. Επιπλέον η μεταφορά τους που διευκολύνεται με την βοήθεια των ανέμων τα μετακινεί σε μεγάλες αποστάσεις όπου μπορούν να εγκατασταθούν στο έδαφος και στα επιφανειακά ύδατα μολύνοντας το περιβάλλον και την τροφική αλυσίδα με αντίστοιχες επιδράσεις στην υγεία. Οι άνθρωποι που ζουν για πολλά έτη σε περιοχές που παρουσιάζουν υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων, έχουν συνδεθεί με διάφορα προβλήματα υγείας, όπως μειωμένη λειτουργία των πνευμόνων, ανάπτυξη της χρόνιας βρογχίτιδας και ακόμη και πρόωρο θάνατο. Τα παιδιά, τα άτομα που πάσχουν από άσθμα ή έχουν καρδιολογικά προβλήματα και οι ηλικιωμένοι είναι οι ομάδες του πληθυσμού που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στην έκθεση σε ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. (Στάγκος 2017)

Τα PM έχουν άμεσες και χρόνιες επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό. Σύμφωνα με επιδημιολογικές μελέτες, τα σωματίδια σχετίζονται με αυξημένη θνησιμότητα και νοσηρότητα (Schlesinger, 1995, Harrison and Yin, 2000, Green, 2003). Συγκεκριμένα τα PM εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό με την αναπνοή και εναποτίθενται στο αναπνευστικό σύστημα (ανώτερο και κατώτερο), προκαλώντας άμεσες επιπτώσεις στο αναπνευστικό σύστημα όπως βρογχίτιδα και πνευμονία, αλλά και καρδιακά προβλήματα και επιδείνωση χρόνιων αποφρακτικών νόσων του αναπνευστικού. Το μέγεθος του σωματιδίου παίζει πολύ σημαντικό ρόλο αναφορικά με τα προβλήματα της υγείας, καθώς καθορίζει την θέση εναπόθεσης του

στην αναπνευστική οδό. Τα μεγάλα σωματίδια ($>2,5 \mu\text{m}$) έχουν την τάση να εναποτίθενται στην άνω θωρακική χώρα (μύτη και τον λάρυγγα), ενώ τα μικρότερα (τείνουν να εισχωρούν βαθύτερα στους πνεύμονες και ειδικότερα την κυψελιδική περιοχή. Τα σωματίδια που φθάνουν στην περιοχή αυτή αποθέτονται με μηχανισμούς καθίζησης και διάχυσης.

Οι μηχανισμοί μέσω των οποίων τα μικρά σωματίδια δρουν στο καρδιαγγειακό είναι τρεις. Ο πρώτος μηχανισμός είναι, μέσω ερεθισμού του πνευμονικού ιστού, ενεργοποίηση του αυτόνομου νευρικού συστήματος της καρδιάς με αποτέλεσμα την εμφάνιση ταχυκαρδίας και την ελάττωση της διακύμανσης της καρδιακής συχνότητας, που έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση αρρυθμιών και αιφνίδιου θανάτου, ιδιαίτερα σε ηλικιωμένους ασθενείς. Ο δεύτερος μηχανισμός είναι η απευθείας δράση στο μυοκάρδιο χωρίς την μεσολάβηση των πνευμόνων, με αποτέλεσμα τη διέγερση του αυτόνομου νευρικού συστήματος και πάλι με τα ίδια αποτελέσματα ως προαναφέρθηκαν. Ο τρίτος και κύριος μηχανισμός είναι η δημιουργία προϋποθέσεων φλεγμονής είτε μέσω φλεγμονής του ενδοθηλίου των πνευμόνων είτε απευθείας δράση στο μυοκάρδιο (Τσιριγώτη 2012)

9.3. Μηχανισμοί απομάκρυνσης σωματιδίων από το αναπνευστικό σύστημα

Παρόλο την πολύ εύκολη πρόσβαση των αιρούμενων σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό, οργανισμός διαθέτει μηχανισμούς απομάκρυνσης σωματιδίων από το αναπνευστικό σύστημα.

Διαφορετικοί μηχανισμοί απομάκρυνσης λειτουργούν σε διαφορετικές περιοχές του αναπνευστικού συστήματος. Οι πιο σημαντικοί μηχανισμοί απομάκρυνσης είναι (ICRP 1994; Hussain, 2011):

- Μηχανικός καθαρισμός (mechanical clearance): Ο μηχανικός καθαρισμός αφορά: Αντανακλαστική σύσπασση των βρόγχων και πρόκληση βήχα
- Καθαρισμός μέσω της βλέννας (Mucociliary clearance): Είναι ο κύριος μηχανισμός απομάκρυνσης αδιάλυτων σωματιδίων στην τραχειοβρογχική περιοχή. Η απομάκρυνση πραγματοποιείται με το στρώμα της βλέννας. Το στρώμα της βλέννας κινείται προς τον λάρυγγα όπου η βλέννα καταπίνεται προς το γαστρεντερικό σύστημα ή αφαιρείται μέσω απόπτωσης.
- Καθαρισμός από τα μακροφάγα κύτταρα (Macrophage-mediated clearance): Είναι ο κύριος μηχανισμός απομάκρυνσης στην κυψελιδική περιοχή. Η απομάκρυνση των σωματιδίων από την κυψελιδική περιοχή γίνεται μέσω της φαγοκύτωσης (από τα μακροφάγα κύτταρα) και τη μετακίνηση τους (με τη βλέννα) στα βρογχιόλια. Εάν η ανοδική μετακίνηση προς τα βρογχιόλια δεν είναι δυνατή κατευθύνονται προς το κυκλοφορικό ή το λεμφικό σύστημα.
- Απορρόφηση των σωματιδίων από το επιθήλιο των κυψελίδων και απομάκρυνση τους με το αίμα ή τη λέμφο.
- Απορρόφηση στο αίμα (absorption into the blood): Πραγματοποιείται σε δύο στάδια: (α) τη διάλυση (dissolution) των σωματιδίων σε συστατικά που μπορούν να απορροφηθούν στο

αίμα και την (β) ανάληψη/πρόσληψη (uptake) αυτών των συστατικών στο αίμα. Στην απορρόφηση περιλαμβάνεται και η απευθείας απορρόφηση των σωματιδίων στο αίμα (κυρίως για υπέρλεπτα σωματίδια). Η απορρόφηση των σωματιδίων στο αίμα παρατηρείται σε όλες τις περιοχές του αναπνευστικού συστήματος εκτός από την πρόσθια ρινική κοιλότητα.

Κεφάλαιο 10°

10.1 Συμπεράσματα

Σύμφωνα με την βιβλιογραφική έρευνα για τις επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία του ανθρώπου, συμπεραίνεται ότι η τιμή της συγκέντρωσής του είναι ένας παράγοντας όπου θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία, καθώς είναι επικίνδυνη για την υγεία των ανθρώπων και πολλές φορές καταλυτική προκαλώντας θνησιμότητα.

Όσον αφορά το υπόλοιπο μέρος της διπλωματικής, είχε ως αποτέλεσμα ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των ρύπων στην περιοχή που εξετάστηκαν ανήκε στα NO_x , ακολουθώντας οι υπόλοιποι με μικρότερο ποσοστό. Το συμπέρασμα αυτό είχαν και άλλες σχετικές έρευνες όπως είναι οι ακόλουθες. Σύμφωνα με την έρευνα της κα. Τρύπατση (2017), η οποία διεξήχθη με σκοπό την απογραφή αέριων ρύπων από τον κλάδο της ναυτιλίας στο λιμάνι της Χίου, δημιουργήθηκε το συμπέρασμα ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς των μηχανών ενός πλοίου τόσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος των ρύπων. Καθοριστικό ρόλο παίζουν ο χρόνος παραμονής του πλοίου σε ένα συγκεκριμένο λιμάνι από ένα άλλο πλοίο που ο χρόνος ελλιμενισμού του είναι λιγότερος. Όσο περισσότερες ώρες παραμένει το πλοίο αγκυροβολημένο σε ένα λιμάνι τόσοι περισσότερους ρύπους θα δημιουργήσει, εν συνεχεία οι ρύποι που θα δημιουργήσει θα είναι περισσότεροι από τους ρύπους που θα δημιουργηθούν κατά τον χρόνο ελιγμών του πλοίου. Σύμφωνα επίσης με την έρευνα της κα. Τρύπατση (2017), της οποίας η έρευνα πραγματοποιήθηκε για το διάστημα ενός χρόνου παρατηρήθηκε ότι από τους τοξικούς ρύπους που εξετάστηκαν το μεγαλύτερο ποσοστό ανήκε στα NO_x με ποσοστό 80,5%, ακολουθούν το SO_2 και τα $\text{PM}_{2.5}$ με ποσοστό 12.3% και 7,15% αντίστοιχα.

Άλλη μία έρευνα αποτελεί η μελέτη του κ. Κακογιάννη (2013), η οποία μελέτη αφορούσε τον υπολογισμό αέριων ρύπων, αναφορικά στο λιμάνι του Πειραιά. Η έρευνα διεξήχθη για την χρονική περίοδο 12/6 έως 19/6 του 2012. Όπως και στην έρευνα της κα. Τρύπατση έτσι και σε αυτήν το μεγαλύτερο ποσοστό στην μόλυνση κατέχουν τα NO_x και ακολουθούν το SO_2 και τα $\text{PM}_{2.5}$. Και σε αυτήν την έρευνα παρατηρήθηκε ότι οι συνολικές εκπομπές κάθε ρύπου κατά τη διάρκεια ελλιμενισμού του πλοίου είναι μεγαλύτερες από τους ρύπους που δημιουργούνται κατά την διαδικασία ελιγμών του πλοίου, καθώς ο χρόνος ελλιμενισμού είναι μεγαλύτερος από τον χρόνο που απαιτείται κατά τους ελιγμούς του πλοίου.

Όπως η παρούσα έρευνα αλλά και οι παραπάνω που αναφέρθηκαν έτσι και η έρευνα του κ. Τζαννάτου (2010), η οποία σχετίστηκε με το λιμάνι του Πειραιά κατέληξε στο αποτέλεσμα ότι το μεγαλύτερο ποσοστό από τα εκπεμπόμενα είδη ανήκε στα NO_x , ακολουθώντας τα SO_x και τα PM .

Εν συνεχεία, όσον αφορά τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων των ρύπων μέσω του μοντέλου ISC3, συμπεραίνεται ότι οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται κατά του

καλοκαιρινούς μήνες, εφόσον η κινητικότητα στο νησί και συγκεκριμένα στο λιμάνι της Σούδας είναι αρκετά αυξημένη με πάνω από 100.000 αφίξεις (πηγή: iefimerida.gr) κάθε χρόνο σε αυτό. Πιο συγκεκριμένα οι μέγιστες συγκεντρώσεις κάθε ρύπου είναι αρκετά κοντά μεταξύ τους, με το SO₂ να έχει ελάχιστα πιο μικρή συγκέντρωση από τους υπόλοιπους ρύπους. Ακόμη, η συγκέντρωση των PM₁₀ (34,86 μg/m³) είναι αρκετά κοντά στα θεσπισμένα όρια εκπομπής του (50 μg/m³) χωρίς όμως να την ξεπερνά. Επίσης, οι συγκεντρώσεις των CO, SO₂ και NO_x δεν ξεπερνούν τα νομοθετικά όρια. Με την αναβάθμιση των μηχανών των πλοίων και των ίδιων των πλοίων επιτυγχάνεται μείωση των εκπομπών. Μετά από επικοινωνία με τις εταιρείες ακτοπλοϊκών γραμμών, διαβεβαιώθηκε ότι ο στόλος τους είναι αν όχι όλος καινούριας κατασκευής, αλλά ο περισσότερος, με τα παλαιάς κατασκευής πλοία να είναι αναβαθμισμένα. Έτσι λοιπόν, το αποτέλεσμα αυτό ίσως να είναι λόγω του ότι τα πλοία έχουν καινούριο μηχανικό εξοπλισμό στις μηχανές τους. Τα αποτελέσματα αυτά μας δίνουν μια ιδέα για το μέγεθος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, όμως όχι μια συνολική εικόνα, αφού η μελέτη πραγματοποιήθηκε για μόνο ένα έτος (2018).

Σε σύγκριση με την μελέτη που έγινε για το λιμάνι του Μπρίσμπαν της Αυστραλίας το έτος 2018, (Sanaz Jahangiri, Natalia Nikolova and Kiril Tenekedjiev), η μέγιστη συγκέντρωση των PM₁₀ ήταν η διπλάσια σχεδόν τιμή από αυτήν του λιμένα της Σούδας (64,2 μg/m³), ενώ οι συγκεντρώσεις του CO είναι αρκετά κοντά μεταξύ τους με την συγκέντρωση του CO στο λιμάνι του Μπρίσμπαν να είναι 48,6 μg/m³ και την συγκέντρωση του CO στο λιμάνι της Σούδας να είναι στα 30,12 μg/m³. Συμπεραίνεται ότι τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας είναι ρεαλιστικά.

Για να κριθούν οι επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο ExDoM2. Το μοντέλο ExDoM2 υπολογίζει την εναποτιθέμενη δόση σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα, την κατακράτηση/συσσώρευση τους σε αυτό, τη μεταφορά τους στο οισοφάγο και στους λεμφαδένες και τέλος τη διάσπαση των σωματιδίων σε συστατικά και την πρόσληψη τους στο αίμα. Το μοντέλο ExDoM2 που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική, αντιμετωπίζει ολοκληρωμένα το πρόβλημα της εσωτερικής δόσης αιωρούμενων σωματιδίων στο ανθρώπινο σώμα. Απαραίτητα δεδομένα εισόδου για την εφαρμογή του μοντέλου ExDoM2 είναι τα δεδομένα συγκεντρώσεων μάζας αιωρούμενων σωματιδίων και κατανομής μεγέθους της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων

Ακόμη, όσον αφορά τα διαγράμματα-αποτελέσματα του μοντέλου ExDoM2 συμπεραίνεται ότι οι περιοχές όπου γίνεται η μεγαλύτερη εναπόθεση είναι στην ET1 (ρινική κοιλότητα), στην Aln (κυψελίδες πνευμόνων) και στο γαστρεντερικό σύστημα GI track που σημαίνει ότι οι μηχανισμοί απομάκρυνσης λειτουργούν αποτελεσματικά.

Κεφάλαιο 11°

11.1 Προτάσεις για περιορισμό της ρύπανσης από πλοία

Τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγουμε από τη συγκεκριμένη μελέτη δεν είναι αρκετά για να αναδείξουμε το μέγεθος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, καθώς τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε δεν είναι σε μακροπρόθεσμο επίπεδο αλλά για τη χρονική διάρκεια ενός έτους

(2018) και επίσης δεν αφορούν μεγάλο εύρος έκτασης αλλά αφορούν την τοπική περιοχή που περιλαμβάνει το λιμάνι της Σούδας και την γύρω περιοχή της που βρίσκεται γύρω από αυτό. Με τα συμπεράσματα λοιπόν της συγκεκριμένης εργασίας πρέπει να προταθούν τρόποι με τους όποιους θα περιοριστεί όσο το δυνατόν περισσότερο η τοπική ατμοσφαιρική ρύπανση. Οι τρόποι αυτοί είναι οι εξής:

1. Οι υπηρεσίες του λιμένα, ή η λιμενική αστυνομία θα πρέπει να κρατούν ένα αρχείο που θα περιέχει τις εκπομπές των ρύπων κατά την διάρκεια του ελλιμενισμού και όχι μόνο κατά την διάρκεια πλεύσης. Θα πρέπει να υπάρχει ένας έλεγχος αυτού του αρχείου.
2. Μετά τον έλεγχο αυτών των τιμών και συγκεντρώσαν θα πρέπει να υπάρχει μια επιβολή περιβαλλοντικού φόρου στις περιπτώσεις που η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας θεωρείται σημαντική, με κριτήρια πάντα τα θεσμοθετημένα όρια από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την εισαγωγή του αεροδρομίου στο σύστημα εμπορίας ρύπων [Βουτυράκης, 2009].
3. Η αντικατάσταση των παλαιών μηχανών με μηχανές που είναι φιλικές προς το περιβάλλον, και απαγόρευση παλαιών μηχανών δια νόμου που δεν είναι φιλικές προς το περιβάλλον.
4. Πιο συχνά δρομολόγια από και προς τον λιμένα της Σούδας και από τις γύρω περιοχές, όχι μόνο από το κέντρο των Χανίων. Έτσι θα περιοριστεί ο μεγάλος αριθμός αυτοκινήτων που εισέρχονται στην περιοχή.
5. Πρόγραμμα μείωσης της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος στα πλοία κατά την διάρκεια του ελλιμενισμού που συνεπάγεται με μείωση των αέριων εκπομπών

Συμπερασματικά, για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών καυσαερίων από την ναυτιλία, απαιτείται ιδιαίτερη προσπάθεια. Προϋπόθεση είναι η υιοθέτηση άλλων πηγών ενέργειας όπως πιο οικολογικά καύσιμα, χαμηλής περιεκτικότητας σε SO₂. Επιπλέον, απαιτείται εκσυγχρονισμός ως προς την παραγωγή ενέργειας είτε πρόωσης είτε παροχής ηλεκτρικής ενέργειας κατά την παραμονή των πλοίων στο λιμάνι. Το ενδεχόμενο εξέτασης δυνατότητας του εκάστοτε πλοίου να μπορεί να εκμεταλλευτεί τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως είναι η ηλιακή ή η αιολική, εξοικονομώντας με αυτόν τον τρόπο καύσιμα και κατ' επέκταση μειώνοντας την παραγωγή ρύπων σε μεγάλο ποσοστό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ahrens, D.C. (2003). *Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment*. Pacific Grove: Brooks Cole.

Arya, S.P. (1999). *Air Pollution Meteorology and Dispersion*. Oxford University Press, USA.

Fatogoma O. and Jacko R.B. (2002). A model to estimate mixing height and its effect on ozone modeling. *Atmos. Environ.* 36, 3699–3708.

Garratt J.R. (1994). *The Atmospheric Boundary Layer*. Cambridge University Press, Cambridge.

Golder D. (1972). Relations among stability parameters in the surface layer. *Boundary Layer Meteorology* 3, 47–58.

Mohan M. and Siddiqui T.A. (1998). Analysis of various schemes for the estimation of atmospheric stability classification. *Atmos Environ.* 32, 3775–3781.

Oetl, D., Hausberger, S., Rexeis, M. and Sturm, P. (2006). Simulation of traffic induced NO_x-concentrations near the A 12 highway in Austria. *Atmospheric Environment* 40, 6043–6052.

Panofsky H.A., Tennekes H., Lenschow D.H. and Wyngaard J.C. (1977). The characteristics of turbulent velocity components in the surface layer under convective conditions. *Boundary Layer Meteorol.* 11, 355–361.

Panofsky H.A. and Dutton J.A. (1984). *Atmospheric Turbulence: Models and Methods for Engineering Applications*. Wiley, New York.

Seinfeld J. S. (1986) *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*. Wiley, New York.

Venkatram A. (1996). An examination of the Pasquill-Gifford-Turner dispersion scheme. *Atmos. Environ.* 30, 1283–1290.

Zannetti P. (1990). *Air Pollution Modelling*. Van Nostrand Reinhold, New York.

Tzannatos, E. 2010. Ship emissions and their externalities for the port of Piraeus – Greece, *Atmospheric Environment*, (IF: 3.110), 44:3, 400–407.

C. Wang, J. J. Corbett, and J. Firestone, “Modeling energy use and emissions from North American shipping: Application of the ship traffic, energy, and environment model,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 41, no. 9, pp. 3226–3232, 2007.

Carbon Footprinting for Ports Guidance Document. WPCI (World Ports Climate Initiative), 2010.

P. Kasibhatla, V. Eyring, and A. Lauer, "Mortality from Ship Emissions: A Global Assessment," 2007.

D. Scott, P. Peeters, and S. Gössling, "Can tourism deliver its 'aspirational' greenhouse gas emission reduction targets?," *J. Sustain. Tour.*, vol. 18, no. 3, pp. 393–408, 2010.

Decision support system for the evaluation of urban air pollution control options: Application for particulate pollution in Thessaloniki, Greece. Vlachokostas Ch. Achillasa N. Moussiopoulos; E. Hourdakisa G. Tsilingiridis; L. Ntziachristos; G. Banias; N. Stavrakakis; C. Sidiropoulos, 2009

Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect November 2005
C. Arden Pope C. Arden Pope Douglas W Dockery Douglas W Dockery
Confounding and Effect Modification in the Short-Term Effects of Ambient Particles on Total Mortality: Results from 29 European Cities within the APHEA2 Project Katsouyanni, Klea; Touloumi, Giota; Samoli, Evangelia; Gryparis, Alexandros; Le Tertre, Alain; Monopolis, Yannis; Rossi, Giuseppe; Zmirou, Denis; Ballester, Ferran; Boumghar, Azedine; Anderson, Hugh Ross; Wojtyniak, Bogdan; Paldy, Anna; Braunstein, Rony; Pekkanen, Juha; Schindler, Christian; Schwartz, Joel 2001

Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment N Künzli MD; RKaiser MD; S Medina MD; MS tudnicka MD; O Chanel MD; PFilliger PhD; M Herry PhD; FHorak Jr MD; VPuybonnieux-Texier MSc; PQuéne IMD; JSchneider PhD; RSeethaler ME-CVergnaud PhD; H Sommer PhD

US-EPA (1995). User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models, Volume II – Description of model algorithms, Office of Air Quality Planning and Standards Monitoring, and Analysis Emissions, USEPA -454/B-95-003b.

Health risk assessment of engine exhaust emissions within Australian ports: a case study of Port of Brisbane Sanaz Jahangiri, Natalia Nikolova and Kiril Tenekedjiev

Harrison R.M. and Yin J. (2000). Particulate matter in the Atmosphere: Which

Particles Properties are Responsible for its Effects on Health. *Science of the Total Environment* 249, 85-101.

Hussain M., Madl P. and Khan A. (2011) Lung deposition predictions of airborne particles and the emergence of contemporary diseases Part-I. *The Health* 2 (2), 51-59.

http://www.el.wikipedia.org/wiki/ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΣ_ΣΥΣΤΗΜΑ

Κουϊμτζής, Θ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου, Κ., Φυτιάνος, Κ., Βουτσά, Δ., 2004. Έλεγχος Ρύπανσης Περιβάλλοντος. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη

ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ, Στάγκος 2017

ΧΡΟΝΙΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ, Τσιριγώτη 2012

<http://www.pezoporia.gr/pez/pez.asp?cat=viv&art=7> (Τελευταία προσπέλαση 15/7/2019)

Ναυτική Μετεωρολογία Αικατερίνης Γ. Ψυχα,Μιχαηλ Π. Μινογιάννη Β' Έκδοση Αθήνα 2016

Γεντεκάκης Ι.Β. (2003). Ατμοσφαιρική Ρύπανση. Επιπτώσεις, Έλεγχος και Εναλλακτικές Τεχνολογίες, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.

Προσωπική επικοινωνία με εκπρόσωπο της ANEK LINES

Προσωπική επικοινωνία με εκπρόσωπο της Minoan LINES

Προσωπική επικοινωνία με εκπρόσωπο του Αστεροσκοπείου Αθηνών

Αλεξανδροπούλου Β. (2010). Ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος υποστήριξης αποφάσεων για την εκτίμηση της έκθεσης του ανθρώπου σε ατμοσφαιρικά αιωρούμενα σωματίδια και των επιπτώσεων τους στην ανθρώπινη υγεία. Διδακτορική Διατριβή. Πολυτεχνείο Κρήτης. Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος. Χανιά.

Λαζαρίδης Μ. (2008) Ατμοσφαιρική Ρύπανση με Στοιχεία Μετεωρολογίας, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Helmera, Ελληνική Ένωση Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος www.helmepacadets.gr

Τεχνολογία Περιβαλλοντικών Μετρήσεων Δρ Κ.Π. Μουστρήs Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ

Παπαναστασίου Δ.Κ. (2007). Ατμόσφαιρική ρύπανση-μετεωρολογία σε αστικό περιβάλλον υπο συνθήκες υψηλού υποβάθρου. Διδακτορική διατριβή. Αριστοτέλειο πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Σχολή θετικών επιστημών-Τμήμα φυσικής.

www.kee.gr/οξινη%βροχη (Τελευταία προσπέλαση 15/7/2019)

www.maredu.gunet.gr/Ναυτική%Μηχανολογία (Τελευταία προσπέλαση 15/7/2019)

Βιβλίο: Ναυτική Τέχνη Κωνσταντίνος Τριπολίτης- Γεώργιος Τριάντης

<http://www.e-nautilia.gr> Κατηγορίες και είδη πλοίων (Τελευταία προσπέλαση 31/8/2019)

ALOHA® USER'S MANUAL February 2007 U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

ALOHA® Example Scenarios September 2016 National Oceanic and Atmospheric Administration

MARPLOT 1999 U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION

MAPPING APPLICATION FOR RESPONSE,
PLANNING, AND LOCAL OPERATIONAL TASKS Instructor Manual

Μοντέλα Διάχυσης & Διασποράς της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης Δρ Κ.Π. Μουστρής

Μηχανές Εσωτερικής Καύσης Τμήμα Μηχανολογίας Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης

Κακογιάννης, Α. (2013). Υπολογισμός των εκλυόμενων αέριων ρύπων από πλοία μέσα σε λιμένες περίπτωση (case study) του λιμένα του Πειραιά. Διαθέσιμο σε: <http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/handle/123456789/40343/Kakogiannis%20Alexandros.pdf?sequence=1> (Ημ. Πρόσβασης: 2/09/2019).

Τρυπατζή Ε. Λ. (2017). Απογραφή Αέριων Ρύπων από τη Ναυτιλία Εφαρμογή στο λιμάνι Χίου/ Development of atmospheric pollutant emission inventory in the port of Chios, Greece. Διαθέσιμο σε: <http://hellanicus.lib.aegean.gr/handle/11610/17982?show=full>.

(Ημ. Πρόσβασης; 2/9/2019)

Τεχνολογία Περιβαλλοντικών Μετρήσεων Δρ Κ.Π. Μουστρής

<https://sites.google.com/site/anapneustikosystema/> (Τελευταία προσπέλαση 15/7/2019)

<http://www.scheepvaartwest.be/CMS/>

<https://www.marinetraffic.com/>

<https://www.fincantieri.com/en>

<https://www.tui.co.uk>

<https://www.cruisedeals.co.uk/>

<https://www.cruisemapper.com/>

<https://ellinikiaktoploia.net/>

<https://www.balticshipping.com/>

<https://www.ugs.gr/gr/>

<http://www.mcit.gov.cy/>

<https://el.wikipedia.org/wiki/Κυψελίδα>