



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

**Υλοποίηση συστήματος γραφικής απεικόνισης της διασποράς αέριων
ρύπων εξαιτίας των δραστηριοτήτων πλοίων**

Implementation of a graphical representation module for the dispersion
of air pollutants due to ships' activities

Διπλωματική Εργασία

Νικόλαος Πατέστος

2010010047

Επιβλέπων: **Παπαευθυμίου Σπυρίδων**

ΧΑΝΙΑ 2016

Περίληψη

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία ενός ρεαλιστικού μοντέλου απεικόνισης της κατανομής των αέριων ρύπων που δημιουργούνται από τις δραστηριότητες (πλεύση – ελιγμοί – στάθμευση) καραβιών προκειμένου να γίνεται καλύτερη αναγνώριση γεωγραφικών περιοχών με έντονο περιβαλλοντικό πρόβλημα. Έτσι θα δοθεί μια σαφέστερη εικόνα για τη συγκέντρωση και διάχυση των εκπομπών αέριων ρύπων από τη Ναυτιλία αλλά και το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα στην ευρύτερη περιοχή την οποία εξετάζουμε (Νότιο Αιγαίο). Η υλοποίηση του προτεινόμενου γραφικού μοντέλου διασποράς αέριων ρύπων θα γίνει με χρήση Γκαουσιανού μοντέλου διασποράς στο οποίο ως παράμετροι εισόδου θα είναι τα χαρακτηριστικά του αέριου ρύπου, τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής αλλά και το γεωγραφικό στίγμα των πλοίων.

Abstract

The aim of this thesis is to create a realistic visualization model of the distribution of air pollutants generated by ships' activities (sailing - maneuvering - parking) in order to better identify the geographical areas with significant environmental problems. This will provide a clear picture of the concentration and dissemination of gaseous pollutants from shipping but also their environmental footprint in the region we are considering (South Aegean). The proposed graphical dispersion model will be implemented through a Gaussian dispersion model in which as input parameters will be the characteristics of the gaseous pollutant, the meteorological characteristics of the area and the geographical location of the vessel.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ.Παπαευθυμίου Σπυρίδων για την άριστη συνεργασία καθ' όλη την πορεία για την εκπόνηση της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον εργαστηριακό βοηθό κ. Νικολουδάκη Γεώργιο, για την βοήθεια και καθοδήγηση του σε όλη την διάρκεια της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου και τους φίλους και συμφοιτητές μου, για τη στήριξη και τη βοήθεια τους σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

1	ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	1
1.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.2	Εκπομπές από την λειτουργία των κινητήρων των πλοίων.....	2
1.3	Επιπτώσεις από τις εκπομπές.....	3
1.3.1	Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	4
1.3.2	Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂).....	5
1.3.3	Διοξείδιο του θείου (SO ₂).....	6
1.3.4	Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC).....	6
1.3.5	Οξείδια του Αζώτου (NO _x).....	7
1.3.6	Αιωρούμενα Μικροσωματίδια (PM).....	7
1.4	ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΤΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑ.....	9
1.4.1	MARPOL ANEX VI.....	10
1.4.2	ECAs (Περιοχές μειωμένης εκπομπής).....	12
1.4.3	MRV (Monitor Report Verify).....	14
2	ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	15
2.1	Η διασπορά των αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα.....	15
2.2	Μοντέλα απεικόνισης και έκφρασης της διασποράς των αέριων ρύπων.....	16
2.3	Απεικόνιση της διασποράς των εκπομπών από την Ναυτιλία.....	17
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	20
3.1	Γενική περιγραφή του συστήματος.....	20
3.2	Συνάρτηση διάχυσης Gauss (Gaussian Plume).....	21
3.3	Δομή και Ανάλυση του Συστήματος.....	23
3.3.1	Δεδομένα Εισόδου (αρχείο Excel).....	23
3.3.2	Επεξεργασία δεδομένων (κώδικας Matlab).....	25
3.3.3	Εξαγωγή αποτελεσμάτων στον χρήστη.....	31
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	33
4.1	Αποτελέσματα.....	33
4.2	Επεκτάσεις και Μελλοντική χρήση.....	40
4.3	Συμπεράσματα.....	41
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	43
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	53
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	59

Κατάλογος Συντομογραφιών

CO₂e : Αέρια ρύπανση εκτιμώμενη σε αναλογία διοξειδίου του άνθρακα

GHG emission : Αέρια του θερμοκηπίου

CO : Μονοξείδιο του άνθρακα

CO₂ : Διοξείδιο του άνθρακα

HC : Άκαυστοι υδρογονάνθρακες

NO_x : Οξείδια του αζώτου

SO_x : Οξείδια του θείου

PM_{2.5} : Μικροσωματίδια

IMO : Διεθνής οργανισμός ναυτιλίας

EPA : Υπηρεσία περιβαλλοντικής προστασίας Ηνωμένων Πολιτειών

MEPC : Οργανισμός προστασίας θαλάσσιου περιβάλλοντος

ECAs : ζώνες περιορισμένης κατανάλωσης καυσίμου σε περιεκτικότητα θείου

MRV : Ευρωπαϊκή νομοθεσία για παρακολούθηση μελέτη και επικύρωση δεδομένων της ναυτιλίας

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Εκπομπές μιας μηχανής Diesel πλοίου	2
Εικόνα 2. Εκπομπές CO ₂ με βάση την πηγή εκπομπής	5
Εικόνα 3. Εκπομπές CO ₂ με βάση το μέσο μεταφοράς	5
Εικόνα 4. Επιβάρυνση του αναπνευστικού ανάλογα με την διάμετρο των μικροσωματιδίων [6]	8
Εικόνα 5. Περιοχές μειωμένης εκπομπής Παγκοσμίως	12
Εικόνα 6. Σύγκριση διεθνών ορίων εκπομπών (NO _x) ζωνών ECAs	13
Εικόνα 7. Σύγκριση διεθνών ορίων εκπομπών (SO _x) ζωνών ECAs	13
Εικόνα 8. Απεικόνιση εκπομπών Ψευδάργυρου με το μοντέλο Gauss	16
Εικόνα 9. Απεικόνιση διασποράς μικροσωματιδίων με το μοντέλο Euler για την περιοχή της Θεσσαλονίκης [12]	16
Εικόνα 10. Μέση ετήσια συγκέντρωση NO _x με την μέθοδο Lagrange για την περιοχή των Σερρών [13]	17
Εικόνα 11. Κοινή διαδρομή για 3 πλοία	18
Εικόνα 12. Διαδρομές πλοίων από το λιμάνι του Ηρακλείου [14]	19
Εικόνα 13. Διαδρομές πλοίων για την θαλάσσια περιοχή γύρω από την Κρήτη [14]	19
Εικόνα 14. Θαλάσσια περιοχή γύρω από την Κρήτη [14]	19
Εικόνα 15. Σενάριο σχηματικής απεικόνισης σε κάθετο επίπεδο ,όπου Η το ύψος της εκπομπής	21
Εικόνα 16. Ενδεικτικό γράφημα εκπομπής NO _x	28
Εικόνα 18. Ενδεικτικό γράφημα εκπομπής SO _x	29
Εικόνα 17. Ενδεικτικό γράφημα εκπομπής PM _{2.5}	29
Εικόνα 19. Χάρτης κεντρικού νοτίου Αιγαίου (πάνω) Χάρτης λιμανιού και πόλης Ηρακλείου (κάτω)	32
Εικόνα 20. Κρουαζιερόπλοιο LOUIS AURA (EX ORIENT QUEEN)	33
Εικόνα 21. Εκπομπές οξειδίων του αζώτου NO _x για όλη την διάρκεια του ταξιδιού	34
Εικόνα 23. Εκπομπές μικροσωματιδίων PM _{2.5} για όλη την διάρκεια του ταξιδιού	35
Εικόνα 22. Εκπομπές οξειδίων του θείου SO _x για όλη την διάρκεια του ταξιδιού	35
Εικόνα 24 . Γραφική απεικόνιση των ρύπων με 3ωρη διάρκεια	36
Εικόνα 25. Κρουαζιερόπλοιο EURODAM	37
Εικόνα 26. Εκπομπές NO _x για την 1η περίπτωση	38
Εικόνα 27. Εκπομπές NO _x για την δεύτερη περίπτωση	39
Εικόνα 28. Εκπομπές NO _x για την δεύτερη περίπτωση	39

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1. Ροή λειτουργίας του συστήματος	20
---	----

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Συμπτώματα υγείας ανάλογα με την συγκέντρωση Μονοξειδίου του άνθρακα ανά εκατομμύριο πληθυσμό	4
Πίνακας 2. Χρονικά όρια προσβολής της ανθρώπινης υγείας ως προς την έκθεση σε διοξείδιο του θείου SO ₂	6
Πίνακας 3. Χρονικά όρια προσβολής της ανθρώπινης υγείας ως προς την έκθεση σε διοξείδιο του Αζώτου NO ₂	7
Πίνακας 4. Επιπτώσεις μικροσωματιδίων ανάλογα με την διάμετρο τους	8
Πίνακας 5. Συμβολή της ναυτιλίας στην ατμοσφαιρική ρύπανση εκφρασμένο σε αναλογία διοξειδίου του άνθρακα σε εκατομμύρια τόνους	10
Πίνακας 6. Όρια για εκπομπές NO _x των μηχανών Diesel ανάλογα με το έτος κατασκευής... ..	11
Πίνακας 7. Όρια για κατανάλωση καυσίμων περιεκτικότητας σε θείο των μηχανών Diesel ανάλογα με το έτος κατασκευής	11
Πίνακας 8. Καταστάσεις ατμοσφαιρικής ευστάθειας	15
Πίνακας 9. Μεταβλητές και Ερμηνεία τους για την συνάρτηση διασποράς Gauss	22
Πίνακας 10. Μορφή και διάταξη αρχείου Excel για την εισαγωγή των δεδομένων εισόδου .	24
Πίνακας 11. Μεταβλητές και Ερμηνεία των δεδομένων εισόδου στο αρχείο lat_lon.m	26
Πίνακας 12. Υποθετικοί έλεγχοι για τις τιμές της ατμοσφαιρικής σταθερότητας για κάθε τμήμα του κώδικα	31
Πίνακας 13. Χαρακτηριστικά πλοίου για το 1ο σενάριο	34
Πίνακας 14. Χαρακτηριστικά πλοίου για το 2ο σενάριο	38

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση και η κλιματική αλλαγή αποτελούν το πιο επίκαιρο πρόβλημα της παγκόσμιας κοινότητας λόγω της επιβάρυνσης που έχει δεχτεί αλλά και της συνεχόμενης όξυνσης του. Από την βιομηχανική επανάσταση και μετέπειτα όπου ξεκίνησε η απότομη και αλόγιστη χρήση των ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή και μεταφορά αγαθών η ατμόσφαιρα έχει επιβαρυνθεί με αέριους ρύπους, που οδήγησαν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η παγκόσμια θερμοκρασία να αυξάνεται διαρκώς και να παρατηρούνται μεγάλες αλλαγές τόσο σε τοπικά όσο και στο παγκόσμιο κλίμα. Η αλλαγές αυτές άρχισαν να γίνονται αντιληπτές μετά από μια μεγάλη περίοδο αξιοποίησης των ορυκτών καυσίμων και η σημαντικότητα της αντιμετώπισης και αναγνώρισης του προβλήματος αποτέλεσε επιτακτική ανάγκη για την διεθνή κοινότητα.

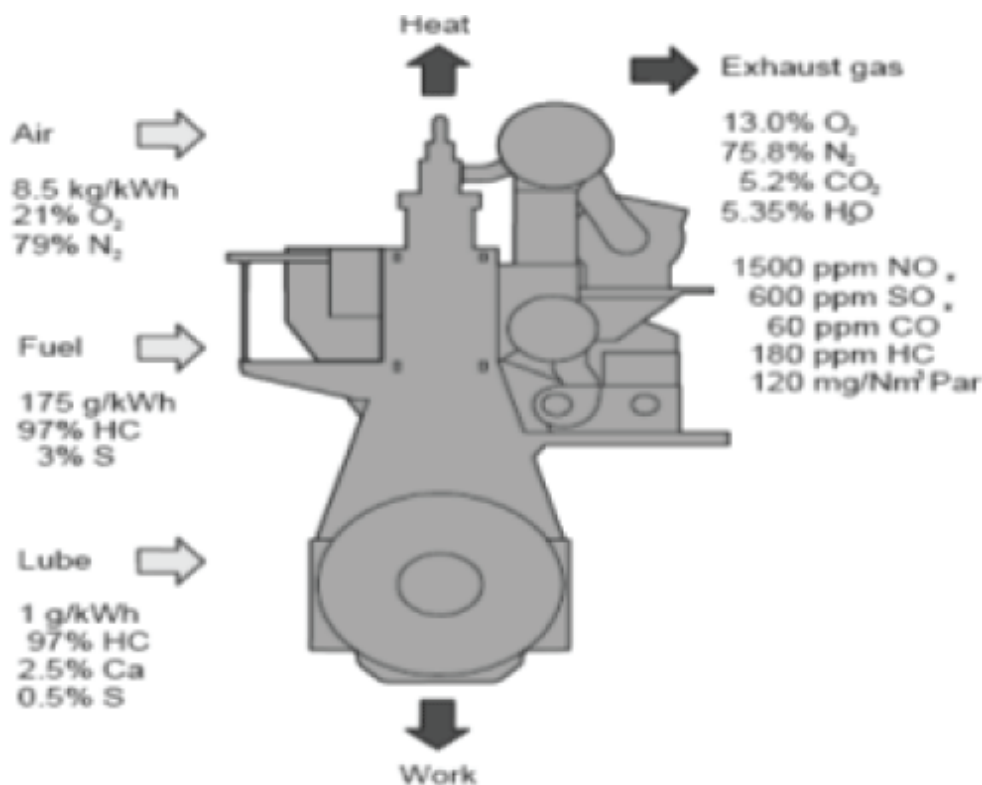
Οι μεγαλύτερες πηγές εκπομπών αέριων ρύπων είναι οι κλάδοι της παραγωγής ενέργειας, της βιομηχανίας, των κατασκευών και της μεταφοράς. Πιο αναλυτικά η εκπομπή αέριων ρύπων από τον κλάδο των μεταφορών αποτελεί το 24,3% της παγκόσμιας εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου (GHG emissions) και ο 2016 μάλιστα παρουσίασε μια αύξηση της τάξης του 35% για την ζώνη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα ποσοστά αυτά καθιστούν τον κλάδο των μεταφορών τον δεύτερο σημαντικότερο παράγοντα στην εκπομπή αέριων ρύπων μετά της ενέργειας.

Σύμφωνα με τους ειδικούς τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα είναι πολύ παραπάνω από τα φυσικά όρια του περιβάλλοντος και όσο υπάρχει αύξηση του πληθυσμού αυτά τα επίπεδα θα συνεχίσουν με ανοδικές τάσεις^[1].

Την μεγαλύτερη αύξηση εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου στον κλάδο των μεταφορών την παρουσιάζει η ναυτιλία, γεγονός που είναι άμεσα συνδεδεμένο με την αύξηση του πληθυσμού, δεδομένου ότι οι ανάγκες για παροχή αγαθών αυξάνονται και η ναυτιλία αποτελεί τον μεγαλύτερο διακινητή εμπορευμάτων παγκοσμίως κατά συνέπεια έχουμε αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις που επιβαρύνουν το περιβάλλον και κυρίως την ατμόσφαιρα εφόσον η κυριότερη πηγή για την κάλυψη αυτών των απαιτήσεων είναι η καύση ορυκτών καυσίμων (βαρύ μαζούτ). Πιο συγκεκριμένα οι βασικές πηγές εκπομπής σε ένα πλοίο είναι η κύρια μηχανή (main), οι βοηθητικές μηχανές (auxiliary) και ο λέβητας (boiler) ενώ τα στάδια εκπομπής είναι όλες οι διαδικασίες που εκτελεί ένα πλοίο κατά την διάρκεια του ταξιδιού του, την είσοδο του και έξοδο του από το λιμάνι αλλά και κατά την παραμονή του σ' αυτό.

1.2 Εκπομπές από την λειτουργία των κινητήρων των πλοίων

Η βασικότερη ενεργειακή πηγή για την λειτουργία και την κάλυψη των αναγκών του πλοίου είναι η καύση ορυκτών καυσίμων κυρίως βαρύ μαζούτ , γιατί τα πλοία είναι κατεχοχήν εφοδιασμένα με κινητήρες εσωτερικής καύσης τύπου diesel. Κατά την διαδικασία λειτουργίας του το καύσιμο μαζί με ατμοσφαιρικό αέρα εισέρχεται στον θάλαμο όπου ,όπου και γίνεται η καύση και ως αποτέλεσμα έχουμε το επιθυμητό έργο για τις δραστηριότητες του πλοίου , την εξαγωγή θερμότητας και την παραγωγή των αέριων ρύπων που μας αφορούν.



Εικόνα 1. Εκπομπές μιας μηχανής Diesel πλοίου

Στην περίπτωση μιας τέλει καύσης τα παράγωγα που θα έχουμε είναι διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), νερό (H₂O), διοξείδιο του θείου (SO₂) και άζωτο (N₂). Επειδή όμως μια τέλεια καύση είναι αδύνατη δημιουργούνται και επιπλέον παράγωγα που οφείλονται στην ατελή καύση και τα οποία είναι μονοξείδιο του άνθρακα (CO), άκαυτοι υδρογονάνθρακες (HC), οξείδια του Αζώτου (NO_x), Μικροσωματίδια (PM) , και οξυγονούχες οργανικές ενώσεις , ενώσεις του μολύβδου και οξείδια του θείου (SO_x). Αυτές οι ουσίες είναι ιδιαίτερα επιβλαβείς για το περιβάλλον αλλά και για τον άνθρωπο.

1.3 Επιπτώσεις από τις εκπομπές

Οι αέριες εκπομπές των πλοίων επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα με αέρια του θερμοκηπίου και άλλες βλαβερές ουσίες που οδηγούν στην καταστροφή της στιβάδας του όζοντος. Επειδή οι αέριοι ρύποι δεν διαχέονται αβλαβώς στην ατμόσφαιρα ούτε απορροφούνται εύκολα από τους μηχανισμούς ανακύκλωσης του περιβάλλοντος συντελούν σε μεγάλο βαθμό στην ραγδαία όξυνση του φαινομένου θερμοκηπίου και της συνολικότερης κλιματικής αλλαγής.

Το γεγονός ότι τα καύσιμα των πλοίων έχουν περιεκτικότητα σε θείο έχει ως αποτέλεσμα να έχουμε εκπομπές οξειδίων του θείου, ρύπου άκρως τοξικού τόσο για το περιβάλλον όσο και για την ανθρώπινη υγεία. Η αλληλεπίδραση του με την ατμοσφαιρική υγρασία οδηγεί στην δημιουργία όξινης βροχής, που οδηγεί στην αύξηση της τοξικότητας του υπεδάφους και του υδροφόρου ορίζοντα αλλά και την καταστροφή της χλωρίδας.

Επίσης οι ατμοσφαιρικές εκπομπές πέρα από τις επιπτώσεις στο οικοσύστημα επιβαρύνουν άμεσα και την ανθρώπινη υγεία. Το μέγεθος των σωματιδίων είναι τέτοιο που επιτρέπει την είσοδο τους στο αναπνευστικό σύστημα με αποτέλεσμα να φράσουν τους αναπνευστικούς πόρους ή να αντιδρούν με την αιμοσφαιρίνη του αίματος και να δημιουργούν διάφορες παθήσεις με ορισμένες να οδηγούν και σε πρόωρους θανάτους.

Οι επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης μπορούν να χωριστούν σε δυο βασικές κατηγορίες τις μακροπρόθεσμες και τις βραχυπρόθεσμες. Οι βραχυπρόθεσμες εμφανίζουν άμεσα τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία και μπορούν να γίνουν πιο εύκολα αντιληπτές, όπως για παράδειγμα το φαινόμενο της όξινης βροχής. Οι μακροπρόθεσμες γίνονται αντιληπτές μετά από μια περίοδο χρόνου και οι επιπτώσεις τους προκειμένου να αποτραπούν ή να αναιρεθούν χρειάζονται δραστικά μέτρα και μεγάλο διάστημα για να επουλωθούν.

Οι βασικότεροι αέριοι ρύποι που προέρχονται από την δραστηριότητα των πλοίων και ευθύνονται για την κατάσταση αυτή είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και τους ακόμα πιο βλαβερούς λόγω της δραστηρότητας τους τα οξείδια του θείου (SO_x), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC) και τα μικροσωματίδια (PM). Ειδικά για τα οξείδια του αζώτου, του θείου, το διοξείδιο του άνθρακα και τα μικροσωματίδια που αφορούν τον κλάδο της ναυτιλίας λόγω των αυξανόμενων ποσοστών τους υιοθετούνται νέα όρια και νέες νομοθεσίες για την μείωση ή τον περιορισμό τους.

1.3.1 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Είναι άχρωμο άγευστο αέριο και λόγω της μικρής ταχύτητας διάχυσης δημιουργεί προβλήματα κυρίως στην περιοχή την οποία εκπέμπεται. Το μονοξείδιο του άνθρακα αντιδρά με την αιμοσφαιρίνη του αίματος 200 φορές πιο γρήγορα από το οξυγόνο με αποτέλεσμα την ελλειμματική τροφοδοσία των ιστών με οξυγόνο πράγμα που οδηγεί στο θάνατο. Οι συγκεντρώσεις του εκτός πόλης κυμαίνονται στα 10-200ppm ενώ εντός πόλεων φτάνουν έως τα 500ppm. Η μείωση του μπορεί να επιτευχθεί με αύξηση της θερμοκρασίας καύσης και την βελτίωση του μίγματος αέρα καυσίμου. Τα συμπτώματα ανάλογα με την συγκέντρωση που μπορεί να παρουσιάσει ένας άνθρωπος εμφανίζονται στον πίνακα 1 ^[2].

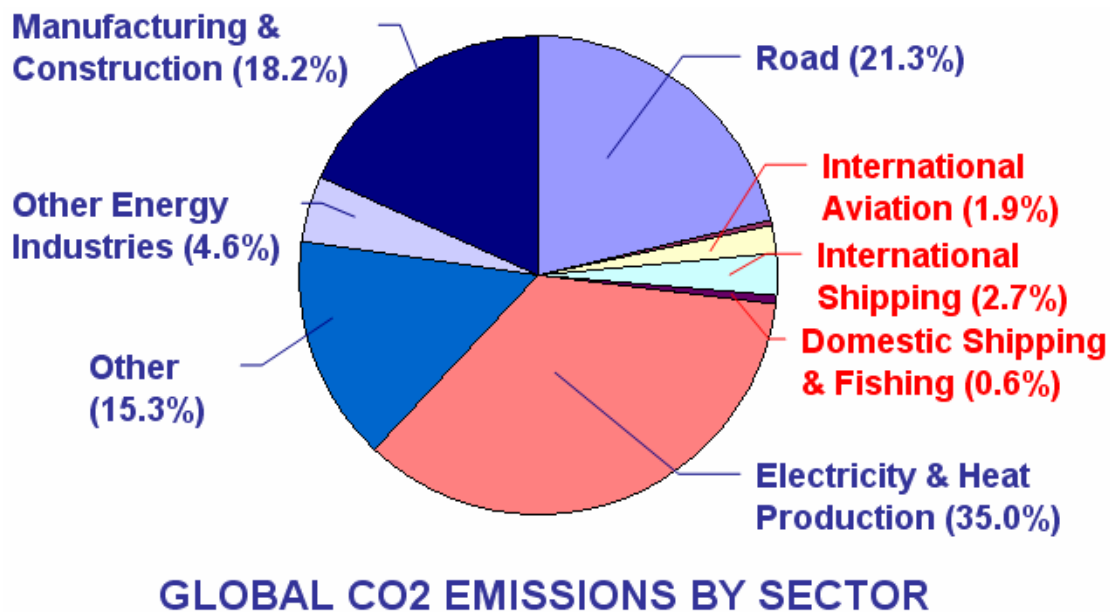
<u>Συγκέντρωση</u>	<u>Συμπτώματα</u>
35 ppm (0.0035%)	Πονοκέφαλος και ζάλη από 6 έως 8 ώρες συνεχούς έκθεσης
100 ppm (0.01%)	Ελαφρύς πονοκέφαλος μέσα σε δύο με τρεις ώρες
200 ppm (0.02%)	Ελαφρύς πονοκέφαλος μέσα σε δύο με τρεις ώρες, απώλεια της κρίσης
400 ppm (0,04%)	Μετωπιαίος πονοκέφαλος μέσα σε μία έως δύο ώρες
800 ppm (0,08%)	Ζάλη, ναυτία και σπασμοί μέσα σε 45 λεπτά, λιποθυμία μέσα σε 2 ώρες
1.600 ppm (0,16%)	Πονοκέφαλος, ταχυκαρδία, ζάλη και ναυτία εντός 20 λεπτών, θάνατος σε λιγότερο από 2 ώρες
3.200 ppm (0,32%)	Πονοκέφαλος, ζάλη και ναυτία σε πέντε με δέκα λεπτά, θάνατος μέσα σε 30 λεπτά
6.400 ppm (0,64%)	Πονοκέφαλος και ζάλη σε ένα έως δύο λεπτά, σπασμοί, διακοπή της αναπνοής και θάνατο σε λιγότερο από 20 λεπτά
12.800 ppm (1,28%)	Απώλεια των αισθήσεων μετά από 2-3 αναπνοές, θάνατος σε λιγότερο από τρία λεπτά

Πίνακας 1 Συμπτώματα υγείας ανάλογα με την συγκέντρωση Μονοξειδίου του άνθρακα ανά εκατομμύριο πληθυσμό

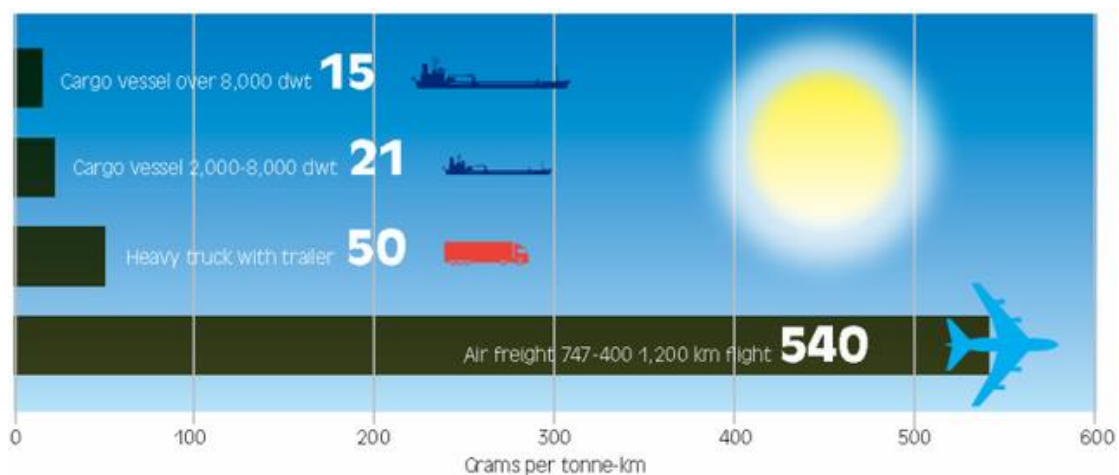
1.3.2 Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Είναι άοσμο, άχρωμο και άγευστο. Η τοξικότητα του για το περιβάλλον και τον άνθρωπο εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις του και αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η συγκέντρωσή του στις εκπομπές των πλοίων εξαρτάται από το είδος του καυσίμου και από την ποσότητα που εισέρχεται στον θάλαμο καύσης. Εκτιμάται ότι η παγκόσμια ναυτιλία εκπέμπει το 2.7% της παγκόσμιας εκπομπής καυσίμου σύμφωνα με την τρίτη μελέτη του IMO το 2014.

Στις εικόνες 2 και 3 εμφανίζονται τα ποσοστά CO₂ με βάση την πηγή εκπομπής και το μέσο μεταφοράς ^[3].



Εικόνα 2. Εκπομπές CO₂ με βάση την πηγή εκπομπής



Εικόνα 3. Εκπομπές CO₂ με βάση το μέσο μεταφοράς

1.3.3 Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Είναι άχρωμο άγευστο και οξειδώνεται με φωτοχημική ή καταλυτική διαδικασία σε τριοξείδιο του θείου το οποίο απορροφάται από την ατμοσφαιρική υγρασία και σχηματίζει το θειικό οξύ το οποίο καταλήγει στο έδαφος. Το οξείδιο του θείου ερεθίζουν το αναπνευστικό και μειώνουν την ορατότητα. Επιπλέον μπορεί να δημιουργήσει σοβαρές φθορές στην χλωρίδα επηρεάζοντας σημαντικά και αγροτικές ζώνες. Επίσης προκαλούν διάβρωση των μνημείων και ευθύνονται σε μεγάλο ποσοστό και για την διάβρωση του ίδιου του κινητήρα. Το 16% του αερομεταφερόμενου θείου προέρχεται από την καύση πετρελαίου και ορυκτού άνθρακα και η ποσότητα που εκπέμπεται σχετίζεται με την περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου.

Στον Πίνακα 2 εμφανίζεται τα χρονικά όρια της έκθεσης σε συγκεκριμένες ποσότητες διοξειδίου του θείου μέχρις ότου εμφανιστούν τα πρώτα σημάδια στην ανθρώπινη υγεία^[4].

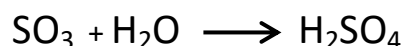
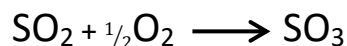
Συγκεντρώσεις	Χρόνος έκθεσης
20 µg/m ³	24ώρη έκθεση
500 µg/m ³	10λεπτη έκθεση

Πίνακας 2. Χρονικά όρια προσβολής της ανθρώπινης υγείας ως προς την έκθεση σε διοξείδιο του θείου SO₂

Ο μηχανισμός παραγωγής του διοξειδίου του θείου αποτυπώνεται από την παρακάτω αντίδραση:



Αξίζει να σημειωθεί πως το διοξείδιο του θείου αποτελεί το 95% των οξειδίων θείου που δημιουργούνται κατά την καύση και το υπόλοιπο 5% είναι τριοξείδιο του θείου(SO₃). Το οποίο είναι και υπεύθυνο για την διάβρωση του κινητήρα όταν αντιδράσει με το νερό γιατί παράγεται θειικό οξύ (H₂SO₄). Οι μηχανισμοί δημιουργίας τριοξειδίου του θείου και θειικού οξέος εμφανίζονται με αντίστοιχη σειρά παρακάτω^[5]:

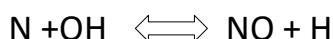
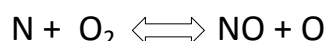
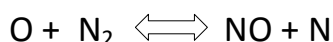
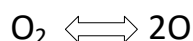


1.3.4 Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC)

Οφείλονται στο φαινόμενο της ψύξης στα τοιχώματα του θαλάμου καύσης , στην ατελή καύση και στην απόπλυση. Συμβάλλουν στις φωτοχημικές διαδικασίες και παράγουν αλδεΐδες και ακόρεστους πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες που έχουν καρκινογόνες επιδράσεις στους ζωντανούς οργανισμούς. Η μείωση τους επιτυγχάνεται με την βελτίωση του μίγματος αέρα-καυσίμου και την αύξηση της θερμοκρασίας καύσης^[5].

1.3.5 Οξείδια του Αζώτου (NO_x)

Παράγονται κατά την ατελή καύση ορυκτών καυσίμων. Η κύρια ένωση του αζώτου είναι το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και σε μικρότερες συγκεντρώσεις το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) η ποσότητα του οποίου ύστερα από την καύση είναι ελάχιστη αλλά αυξάνεται με την οξείδωση που υφίσταται μέρος του μονοξειδίου του αζώτου. Από αυτές τις δύο ενώσεις τοξικό θεωρείται το διοξείδιο το οποίο έχει έντονη μυρωδιά και κόκκινο-καφέ χρώμα. Προκαλεί ερεθισμό στα μάτια, στο αναπνευστικό και βρογχικό σύστημα. Όταν έρθει σε επαφή με την υγρασία ή με τον αέρα ή με το ανθρώπινο σώμα σχηματίζει το ιδιαίτερα διαβρωτικό νιτρικό οξύ. Η ποσότητα οξειδίων του Αζώτου εξαρτάται άμεσα με την θερμοκρασία της καύσης, όσο υψηλότερη τόσο μεγαλύτερες συγκεντρώσεις έχουμε. Ο σχηματισμός του μονοξειδίου του αζώτου (NO) στις εμβολοφόρους Μ.Ε.Κ. γίνεται κατά μη ευσταθή τρόπο που απεικονίζεται από τις εξισώσεις Zeldovich ^[5]:



Στον πίνακα 3. εμφανίζονται τα χρονικά όρια της έκθεσης σε συγκεκριμένες ποσότητες διοξειδίου του αζώτου μέχρις ότου εμφανιστούν τα πρώτα σημάδια στην ανθρώπινη υγεία^[4].

Συγκεντρώσεις	Χρόνος έκθεσης
40 μg/m ³	Ετήσια έκθεση
200 μg/m ³	1 ώρα έκθεση

Πίνακας 3. Χρονικά όρια προσβολής της ανθρώπινης υγείας ως προς την έκθεση σε διοξείδιο του Αζώτου NO₂

Σύμφωνα με τον διεθνή οργανισμό υγείας (WHO) τα 40 μg/m³ για ετήσια έκθεση έχει τεθεί σαν όριο προστασίας για το άνθρωπο προκειμένου να αποφευχθούν προβλήματα υγείας.

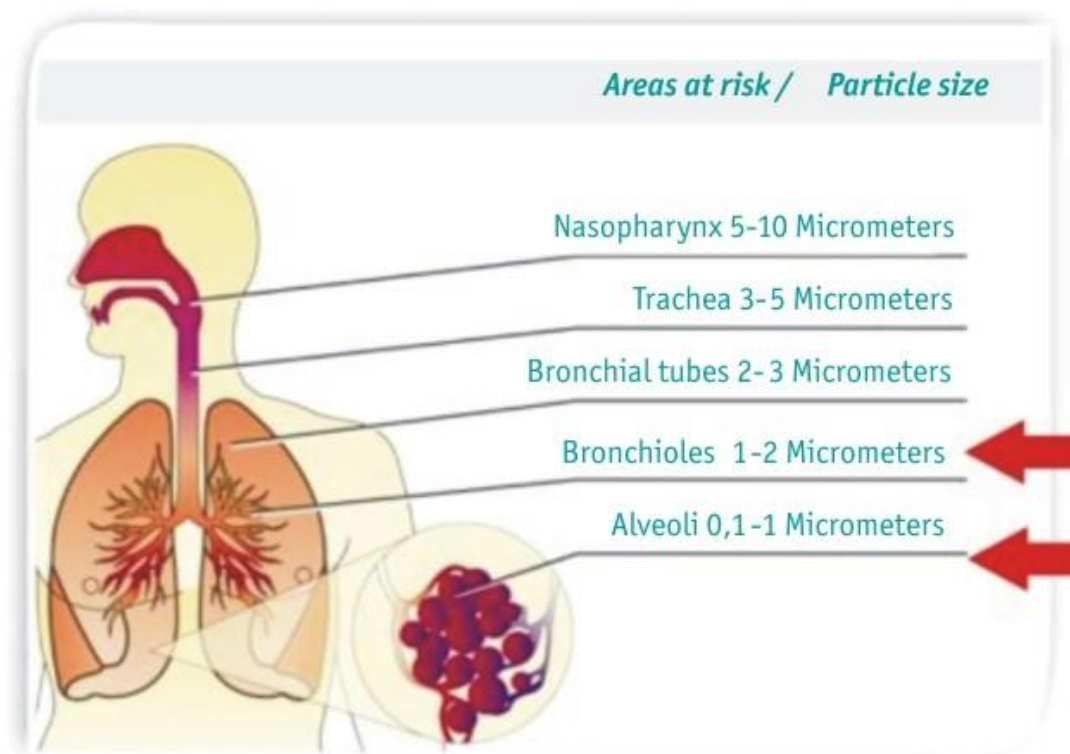
1.3.6 Αιωρούμενα Μικροσωματίδια (PM)

Αποτελούν ένα σύνθετο ρύπο γιατί παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία στο μέγεθος, στην χημική τους σύσταση και στο σχήμα τους. Κατά κύριο λόγο απαρτίζονται από αιθάλη, οξείδια μετάλλου και θειικά άλατα και οφείλονται στην

ατελή καύση, στα λιπαντικά του κινητήρα και στις ακαθαρσίες του καυσίμου. Το 90% προέρχεται από φυσικές πηγές (πχ. ηφαίστεια), αλλά κοντά σε βιομηχανικές ζώνες τα ποσοστά αντιστρέφονται και η προέλευση τους είναι από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Η συνεισφορά της παγκόσμιας ναυτιλίας σε αυτό το είδος των ρύπων είναι πολύ μικρή (1%), γιατί οι μηχανές των πλοίων κάνουν σχετικά καλή καύση, αλλά σε περιοχές μεγάλης διέλευσης ή λιμάνια ο συχνός έλεγχος είναι απαραίτητος εξαιτίας της μεγάλης συγκέντρωσης. Τα μικροσωματίδια διακρίνονται ανάλογα με την διάμετρο τους και οι επιπτώσεις τους παρατίθενται στον πίνακα 4 ^[5] :

Διάμετρος	Επιπτώσεις
> 7-10 μm	Ευθύνονται για την διάβρωση των κτηρίων και δημιουργούν προβλήματα στην χλωρίδα
Μεταξύ 5 και 7 μm	Καταλήγουν στο έδαφος εξαιτίας των διάφορων καιρικών μηχανισμών
Μεταξύ 2 και 5 μm	Εισπνέονται από τον άνθρωπο και μπορούν να φράξουν σταδιακά τις αναπνευστικές διόδους
Μεταξύ 1 και 2 μm	Φράσουν τις αναπνευστικές κυψελίδες και θεωρούνται ιδιαίτερα επικίνδυνα

Πίνακας 4. Επιπτώσεις μικροσωματιδίων ανάλογα με την διάμετρο τους



Εικόνα 4. Επιβάρυνση του αναπνευστικού ανάλογα με την διάμετρο των μικροσωματιδίων ^[6]

1.4 ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΤΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

Η θέσπιση ορίων και νομοθεσιών για την περιβαλλοντική ρύπανση που αφορούσε τις θερμικές μηχανές έγινε επιτακτική ανάγκη από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα προκειμένου να αποτραπεί η ραγδαία μόλυνση της ατμόσφαιρας και της ανθρώπινης υγείας. Τα όρια τα οποία τέθηκαν σε ισχύ και κατέστησαν δυνατή μια μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων της τάξης του 60%. Μια μείωση που ήταν αντιστρόφως ανάλογη με την αύξηση του πληθυσμού και άρα των αναγκών που απαιτούνται να καλυφθούν. Πλέον υπάρχουν πολύ αυστηρές νομοθεσίες για τις εκπομπές που παράγουν οι τομείς της ενέργειας, του αυτοκινήτου, της βιομηχανίας παραγωγής αγαθών και των μεταφορών. Οι νομοθεσίες αυτές αφορούν κυρίως τους ρύπους όπως τα οξείδια του αζώτου, του θείου και το διοξείδιο του άνθρακα γιατί εκλύονται σε πολύ μεγάλες ποσότητες συγκριτικά με άλλα και είναι ιδιαίτερα βλαβερά για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

Ωστόσο ενώ στον κλάδο της αυτοκίνησης τα όρια και οι νομοθεσίες που έχουν τεθεί έχουν παρουσιάσει σημαντικά και ενθαρρυντικά αποτελέσματα ο κλάδος της ναυτιλίας υστερεί ακόμα πολύ. Τόσο οι νομοθεσίες των ορίων εκπομπών όσο και τα μέτρα παρακολούθησης των ρύπων έχουν τεθεί σε ισχύ πολύ πρόσφατα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η νομοθεσία του διεθνούς οργανισμού ναυτιλίας που αφορά την ατμοσφαιρική ρύπανση και για πρώτη φορά υιοθετήθηκε το 1997 και έθετε πολύ επιφανειακά όρια για τους βασικότερους ρύπους.

Έχει παρατηρηθεί ότι οι περιοχές και οι πόλεις που βρίσκονται σε ζώνες υψηλής εμπορευματικής κίνησης πλοίων και κοντά σε λιμάνια έχουν ιδιαίτερα επιβαρυμένη ατμόσφαιρα λόγω της θαλάσσιας δραστηριότητας. Όπως γίνεται αντιληπτό δεν υπάρχει ισομερής κατανομή στις συγκεντρώσεις των ρύπων και για αυτό το βόρειο ημισφαίριο είναι πολύ πιο επιβαρυμένο και κυρίως στις περιοχές της βόρειας Ευρώπης και των ανατολικών και δυτικών ακτών των Ηνωμένων Πολιτειών.

Οι παράγοντες αυτοί αποτέλεσαν την εναρκτήρια δύναμη για να μπορέσει η διεθνής κοινότητα να αντιληφθεί πλέον την σοβαρότητα του ζητήματος και να θέσει ρεαλιστικούς στόχους που αφορούν την πρόληψη και τον περιορισμό των αέριων ρύπων του κλάδου της ναυτιλίας. Τα όρια και οι νομοθεσίες συνεχώς ανανεώνονται και το ζήτημα της μείωσης και ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από την ναυτιλία αποτελεί ένα από τα πιο επίκαιρα προβλήματα γιατί έχει ακόμα μεγάλα περιθώρια εξέλιξης.

Τα κύρια εμπόδια στην όλη προσπάθεια για τον περιορισμό και τον έλεγχο των εκπομπών είναι η κίνηση των μεγάλων φορτηγών πλοίων σε μεγάλο εύρος περιοχών από όπου και γίνεται ανεφοδιασμός κακής ποιότητας καύσιμου και το ότι υπάγονται σε διαφορετική κυρίαρχη νομοθεσία. Επιπλέον ενώ τα καινούρια πλοία πληρούν τις νέες προδιαγραφές και όρια που έχει θέσει ο IMO και η ΕΡΑ ένας μεγάλος αριθμός παλαιάς κατασκευής και τεχνολογίας πλοίων δεν είναι εξοπλισμένα με τις κατάλληλες τεχνολογίες μείωσης των εκπομπών τους.

Ο IMO πέρα από την εισήγηση και την θέσπιση των κυρίαρχων νομικών πλαισίων είναι υπεύθυνος και για την παρακολούθηση και διαρκή ενημέρωση σχετικά την τρέχουσα κατάσταση της περιβαλλοντικού αποτυπώματος που έχει η ναυτιλία. Πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με την τρίτη και πιο πρόσφατη μελέτη που ενεργήθηκε έδειξε πως για το διάστημα 2007-2012 η συμβολή της ναυτιλίας στο

φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι στο 2,8% δηλαδή 1.036 εκατομμύρια τόνοι CO₂e. Η εμπορική ναυτιλία μάλιστα συμβάλει στο 2,4% δηλαδή 866 εκατομμύρια τόνους CO₂e^[7]. Τα δεδομένα αυτά παρατίθενται στον πίνακα 5.

Third IMO GHG Study 2014 CO ₂ e					
Year	Global CO ₂ e ^[2]	Total shipping	%of global	International shipping	%of global
2007	34,881	1,121	3.2%	903	2.6%
2008	35,677	1,157	3.2%	940	2.6%
2009	35,519	998	2.8%	873	2.5%
2010	37,085	935	2.5%	790	2.1%
2011	38,196	1,045	2.7%	871	2.3%
2012	39,113	961	2.5%	816	2.1%
Average	36,745	1,036	2.8%	866	2.4%

Πίνακας 5. Συμβολή της ναυτιλίας στην ατμοσφαιρική ρύπανση εκφρασμένο σε αναλογία διοξειδίου του άνθρακα σε εκατομμύρια τόνους

Οι μελέτες αυτές ως βασικό τους στόχο έχουν την παρακολούθηση της ρύπανσης και το κατά πόσο προσεγγίζει τις προβλέψεις που γίνονται για τον περιορισμό της όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου αλλά και στην τήρηση των προβλέψεων των επιστημόνων. Στόχος του επιστημονικού κλάδου αποτελεί πλέον η μη αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας του πλανήτη έως το 2050 πάνω από 2°C.

Χωρίς την ύπαρξη νομικών πλαισίων η θερμοκρασία του πλανήτη θα ανέβαινε ραγδαία και θα υπήρχαν δραματικές κλιματικές αλλαγές που θα καθιστούσαν σε ορισμένες περιοχές την ύπαρξη ζωής πολύ δύσκολη έως και αδύνατη.

1.4.1 MARPOL ANEX VI

Ο διεθνής οργανισμός ναυτιλίας IMO έχει δημιουργήσει και έχει θεσπίσει νόμους που αφορούν την ρύπανση από τα πλοία και εντάσσονται στο “International Convention on the Prevention of Pollution from Ships” γνωστό και ως MARPOL και αφορά πλοία με σημαίες κρατών που έχουν υπογράψει το πρωτόκολλο ή για πλοία που πλέουν σε ύδατα αυτών των κρατών. Το ποσοστό των πλοίων που αφορά είναι περίπου 98,7%. Το πρωτόκολλο αυτό αρχικά αποτελούταν από 5 παραρτήματα (5 ANEX) και το καθένα αφορούσε διαφορετικό τύπο μόλυνσης και μόλις το 1997 προστέθηκε ύστερα από τροποποιήσεις το παράρτημα VI (ANEX VI) με τίτλο «Κανονισμοί για την πρόληψη της μόλυνσης του αέρα από τα πλοία» και το οποίο όπως δικαιολογεί και ο τίτλος του αφορά την ρύπανση του αέρα από τα πλοία. Τον Μάιο του 2004 αναθεωρήθηκε και καθόρισε τα όρια εκπομπών NO_x και SO_x από τα πλοία και απαγορεύει την εκούσια εκπομπή ουσιών που βλάπτουν την εξωτερική στοιβάδα του όζοντος. Ένα πλοίο εξαιρείται αυτών των ορίων όταν συμμετέχει σε προσπάθεια διάσωσης ή σε περίπτωση βλάβης που δεν ευθύνεται ο κυβερνήτης του. Το παράρτημα αυτό θεσπίστηκε τον Μάιο του 2005. Τον Ιούλιο του 2005 και ύστερα από πιέσεις της Επιτροπής Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) ο

οργανισμός αποφάσισε να σκληρύνει τα όρια που αφορούν την ατμοσφαιρική ρύπανση και μετά από τρία χρόνια μελέτης τα νέα όρια θεσπίστηκαν το 2008 και τέθηκαν σε ισχύ 1 Ιουλίου του 2010. Στόχος του συγκεκριμένου νομικού πλαισίου είναι από το 2020 και μετά η χρήση σε παγκόσμιο επίπεδο καυσίμου περιεκτικότητας 0,5% σε θείο έναντι 3,5 % που είναι τώρα.

Ο κορμός του νομικού πλαισίου ουσιαστικά αφορά τα επιτρεπτά όρια εκπομπής και κατανάλωσης για κάθε diesel μηχανή πλοίου ανάλογα με το έτος κατασκευής της. Τα όρια αυτά χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες τις λεγόμενες TIER I, TIER II, TIER III. Οι μηχανές για τις οποίες αναφέρεται η κάθε κατηγορία ανάλογα με το έτος κατασκευής και τον τύπο του ρύπου εμφανίζονται στους πίνακες 6 και 7 αντίστοιχα ^[8] :

Tier	Χρονολογία	NOx όρια , g/kWh		
		n < 130	130 ≤ n < 2000	n ≥ 2000
Tier I	2000	17.0	$45 \cdot n^{-0.2}$	9.8
Tier II	2011	14.4	$44 \cdot n^{-0.23}$	7.7
Tier III	2016	3.4	$9 \cdot n^{-0.2}$	1.96

Πίνακας 6. Όρια για εκπομπές NO_x των μηχανών Diesel ανάλογα με το έτος κατασκευής

Χρονολογία	Όριο περιεκτικότητας καυσίμου σε θείο (% m/m)
	Διεθνές
2000	4.5%
2010.07	
2012	3.5%
2015	
2020*	0.5%
* - εναλλακτική χρονολογία το 2025 , θα αποφασιστεί στην έρευνα του 2018	

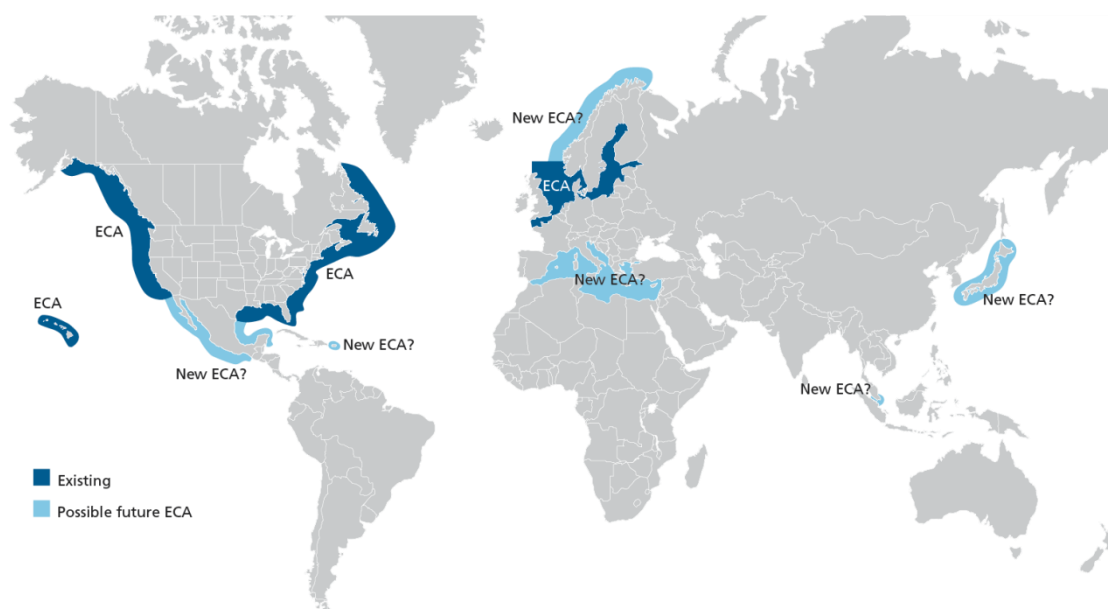
Πίνακας 7. Όρια για κατανάλωση καυσίμων περιεκτικότητας σε θείο των μηχανών Diesel ανάλογα με το έτος κατασκευής

1.4.2 ECAs (Περιοχές μειωμένης εκπομπής)

Η αυξημένη ατμοσφαιρική επιβάρυνση ορισμένων περιοχών εξαιτίας της μεγάλης εμπορευματικής κίνησης των πλοίων που πλέουν από τα νερά τους ανάγκασε τον (IMO) και τις χώρες που επηρεάζονται από αυτό να θέσουν επιπρόσθετα μέτρα και όρια εκπομπής σε τοπικό επίπεδο. Τα μέτρα αυτά στοχεύουν στην μείωση των παραγόμενων οξειδίων του αζώτου (NO_x) και των εκπεμπόμενων οξειδίων του θείου (SO_x). Η ισχύουσα νομοθεσία που θεσπίστηκε για αυτό το λόγο είναι οι ζώνες μειωμένης εκπομπής με την ονομασία ECAs (Emission Control Areas). Η διάταξη υιοθετήθηκε για πρώτη φορά το 1997, τέθηκε σε ισχύ το 2005 για την περιοχή της Βαλτικής θάλασσας και αφορούσε συγκεκριμένα τις εκπομπές οξειδίων του θείου (SO_x). Η αύξηση της ναυτιλιακής δραστηριότητας και τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα της νομοθεσίας οδήγησαν με την σειρά τους την ένταξη νέων περιοχών στις ζώνες περιορισμένης εκπομπής και με επιπλέον όρια για την εκπομπή και οξειδίων του αζώτου.

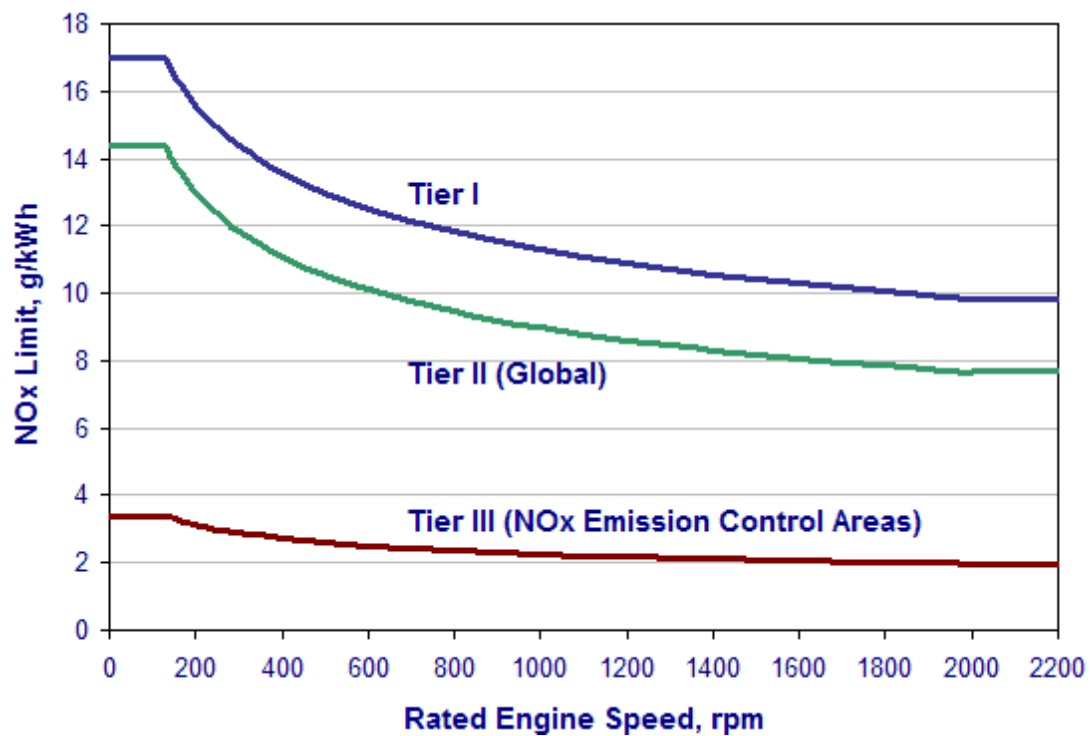
Οι περιοχές που ανήκουν στις ζώνες ECAs πλέον είναι από το 2005 η Βαλτική Θάλασσα, το Αγγλικό κανάλι, η Βόρεια θάλασσα και από τα τέλη του 2012 η Ανατολική και Δυτική Ακτή των ΗΠΑ, η Ακτή της Καλιφόρνιας, η ζώνη γύρω από την Χαβάη και από τον 2014 οι ακτές γύρω από την Καραϊβική (από το Πουέρτο Ρίκο έως τις Παρθένους Νήσους) . Επιπλέον από τις αρχές του 2016 εντάχθηκαν ορισμένες περιοχές της Κίνας οι οποίες είναι το δέλτα του ποταμού Pearl, το δέλτα του ποταμού Yangtze και η ακτή Bohai. Οι περιοχές της Μεσογείου, των ακτών της Ιαπωνίας, του Μεξικού και της Νορβηγίας παρόλο την έντονη ναυτιλιακή δραστηριότητα δεν αποτελούν ζώνες μειωμένης εκπομπής αλλά εξετάζεται το ενδεχόμενο ένταξής τους από το έτος του 2020.

Στις εικόνα 5 εμφανίζονται οι περιοχές ECAs παγκοσμίως^[9].

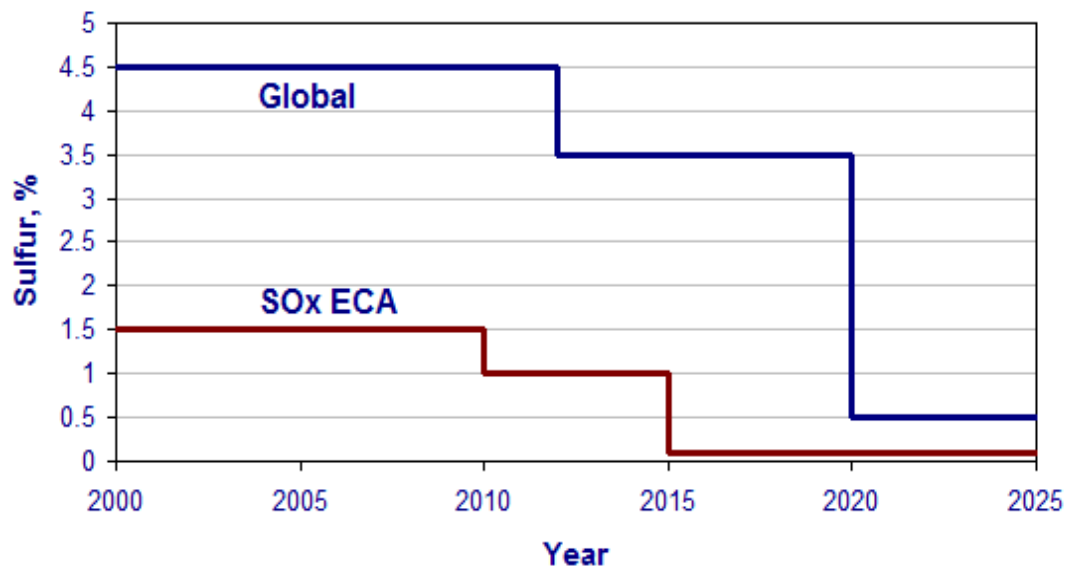


Εικόνα 5. Περιοχές μειωμένης εκπομπής Παγκοσμίως

Τα όρια των εκπομπών (SO_x) και (NO_x) για τις ζώνες ECAs που ισχύουν τώρα σε σχέση με την υπόλοιπη θαλάσσια περιοχή παρουσιάζονται στις εικόνες 6 και 7 αντίστοιχα^[8].



Εικόνα 6. Σύγκριση διεθνών ορίων εκπομπών (NO_x) ζωνών ECAs



Εικόνα 7. Σύγκριση διεθνών ορίων εκπομπών (SO_x) ζωνών ECAs

1.4.3 MRV (Monitor Report Verify)

Την χρονιά του 2011 η Κομισιόν της Ευρωπαϊκής Ένωσης αποφάσισε για τον κλάδο της ναυτιλίας πως πρέπει να πετύχει μια μείωση των εκπομπών CO₂ έως το 2050 συγκριτικά με το 2005 της τάξης του 40% ή αν γίνει εφικτό ακόμα και 50% . Αυτό οδήγησε στην δημιουργία μιας νέας στρατηγικής το 2013 που σαν στόχο θα είχε την δραστική μείωση των παραγόμενων αερίων του θερμοκηπίου. Το όλο εγχείρημα βασίζεται σε τρεις βασικούς πυλώνες^[10].

- Παρακολούθηση, Αναφορά και Πιστοποίηση των εκπεμπόμενων ρύπων διοξειδίου του άνθρακα από τα μεγάλα φορτηγά πλοία που χρησιμοποιούν τα ευρωπαϊκά λιμάνια
- Υλοποίηση των στόχων που έχουν τεθεί για τα όρια των εκπεμπόμενων αερίων του θερμοκηπίου για τον κλάδο των μεταφορών και συγκεκριμένα της ναυτιλίας
- Υιοθέτηση νέων μέτρων βασισμένων στις μετρήσεις των αγορών για βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες λύσεις

Η στρατηγική αυτή υιοθετήθηκε τον Απρίλιο του 2015 και θα τεθεί σε ισχύ αρχές του 2018. Εκτιμάται ότι με την ισχύ του κανονισμού θα υπάρξει μια άμεση μείωση των εκπομπών πάνω από 2%. Παράλληλα υπολογίζεται πως το οικονομικό όφελος από διαφυγόντα κέρδη θα είναι πάνω από 1.2 εκατομμύρια € το χρόνο έως το 2030.

Σύμφωνα με την Κομισιόν το πλάνο είναι από τα τέλη του 2016 το πρόγραμμα να ξεκινήσει να λειτουργεί προπαρασκευαστικά, προκειμένου να γίνουν οι όποιες ενέργειες από τους πλοιοκτήτες ενόψει της πλήρης ισχύς του από τον Ιανουάριο του 2018. Με αυτόν τον κανονισμό κάθε πλοίο που δένει σε ευρωπαϊκό λιμάνι θα πρέπει να παρέχει τα στοιχεία της διαδρομής του το ποσό των καυσίμων που διαθέτει αλλά και άλλα στοιχεία που αφορούν το πλοίο προκειμένου να πιστοποιηθεί ότι πληρούν τα όρια και τις απαραίτητες προδιαγραφές. Αυτό θα ισχύει για πλοία πάνω των 5.000 ακαθάριστων τόνων φορτίου.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

2.1 Η διασπορά των αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα

Η διασπορά αναφέρεται στην διαδικασία κατά την οποία οι εκπεμπόμενοι ρύποι μεταφέρονται στην ατμόσφαιρα. Το φαινόμενο αυτό επηρεάζεται από μια ποικιλία παραγόντων οι οποίοι είναι οι εξής^[11] :

Η ατμοσφαιρική ευστάθεια η οποία εκφράζει την τάση του αέρα να αναμιγνύεται στην κάθετη διεύθυνση και καθορίζεται από την ηλιακή ακτινοβολία, την ταχύτητα των επιφανειακών ανέμων και από την ύπαρξη ή μη συννεφιάς. Οι κατηγορίες ευστάθειας χωρίζονται σε έξι διακριτές καταστάσεις με ονομαστική έκφραση (A, B, C, D, E και F) και παραθέτονται αναλυτικά στον πίνακα 8.

Ταχύτητα ανέμου (m/s)	Εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία την ημέρα			Νυχτερινή συννεφιά	
	Ισχυρή	Μέτρια	Ασθενής	Συννεφιά	Ξαστεριά
<2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D
A=Πολύ Ασταθής B=Ασταθής C=Ελαφρώς Ασταθής D=Ουδέτερη E=Ελαφρώς Σταθερή F=Πολύ Σταθερή					

Πίνακας 8. Καταστάσεις ατμοσφαιρικής ευστάθειας

Οι μετεωρολογικές συνθήκες που ουσιαστικά αφορούν την οριζόντια ταχύτητα του ανέμου ως προς την διεύθυνση και την φορά του στην περιοχή που λαμβάνει χώρο η εκπομπή του ρύπου.

Ο ρυθμός και η ποσότητα του εκπεμπόμενου ρύπου. Χαρακτηριστικά τα οποία καθορίζουν τον τύπο του πλούμιου (ρυπασμένο αέριο ρεύμα από την πηγή εκπομπής), δηλαδή αν είναι ανωστικό, πυκνό ή ουδέτερο αλλά και το είδος της ροής σε συνεχή ή στιγμιαία.

Ο ρυθμός καταστροφής από χημικές διεργασίες. Ο παράγοντας αυτός αναφέρεται σε ρύπους οι οποίοι αντιδρούν με τα στοιχεία της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα να μην απομακρύνονται πολύ από την πηγή και μετατρέπονται σε άλλες ενώσεις που άλλες φορές παραμένουν τοξικές για την ατμόσφαιρα και άλλες όχι.

Τελευταίος παράγοντας είναι ο τύπος του ρύπου. Ανάλογα με τον εκάστοτε ρύπο έχουμε και διαφορετική διασπορά για τον λόγο ότι παρουσιάζει διαφορετικά χημικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες αλλά και διαφορετική γεωμετρία.

Η διασπορά σαν διεργασία είναι άμεσα συνδεδεμένη με την διάχυση για τον λόγο ότι η διαχυτική ικανότητα των ρύπων (δυνατότητα διάχυσης των μορίων σε μικροσκοπικό επίπεδο) επηρεάζει την συνολική διασπορά. Η γενική εξίσωση που περιγράφει την σχέση των δύο αυτών φαινομένων είναι η παρακάτω:

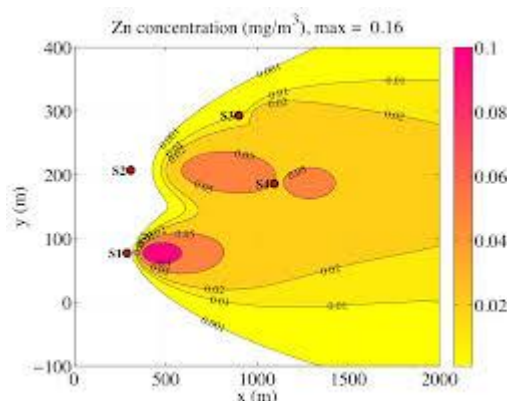
$$[\text{Διασπορά}] = [\text{Μεταφορά μάζας λόγω ροής (άνεμος)}] + [\text{Διάχυση}]$$

2.2 Μοντέλα απεικόνισης και έκφρασης της διασποράς των αέριων ρύπων

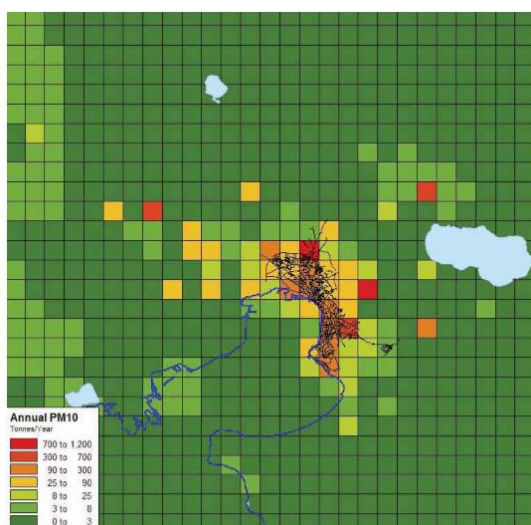
Το πρόβλημα της διασποράς των αέριων ρύπων χρειάστηκε να μελετηθεί για να γίνει πιο εύκολα αντιληπτό για τον λόγο αυτό αναπτύχθηκαν μαθηματικά μοντέλα που μπορούν να εκφράσουν την μεταφορά των ρύπων και την κίνηση των πλουμιών στην ατμόσφαιρα. Η ποικιλία των αστάθμητων παραγόντων που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την μαθηματική έκφραση της διασποράς κατέστησαν δυνατή την διάδοση και εδραίωση τριών βασικών μοντέλων διασποράς.

- Gaussian Models
- Eulerian Models
- Lagrangian Models

Τα τρία αυτά μοντέλα παρουσιάζουν διαφορές ως προς την προσέγγιση που δίνουν στο φαινόμενο της διασποράς. Το μοντέλο Gauss θεωρεί σταθερές τις πηγές εκπομπής και θεωρεί τους ρύπους ως μικροσωματίδια με πολύ μικρή διάμετρο που διασπείρονται στην ατμόσφαιρα και επηρεάζονται από την ατμοσφαιρική ευστάθεια, την ταχύτητα του ανέμου και την ποσότητα εκπομπής. Το μοντέλο Gauss αποτελεί το πιο διαδεδομένο μοντέλο για τον λόγο ότι είναι αρκετά ρεαλιστικό, κατανοητό ακόμα και από μη εξειδικευμένους χρήστες και εύκολο στην ανάλυση του ενώ καθιστά δυνατή την επεξεργασία μεγάλης ποικιλίας παραγόντων και μεταβλητών της διασποράς. Επίσης θεωρούνται κατάλληλα για περιβαλλοντικές μελέτες.



Εικόνα 8. Απεικόνιση εκπομπών Ψευδάργυρου με το μοντέλο Gauss

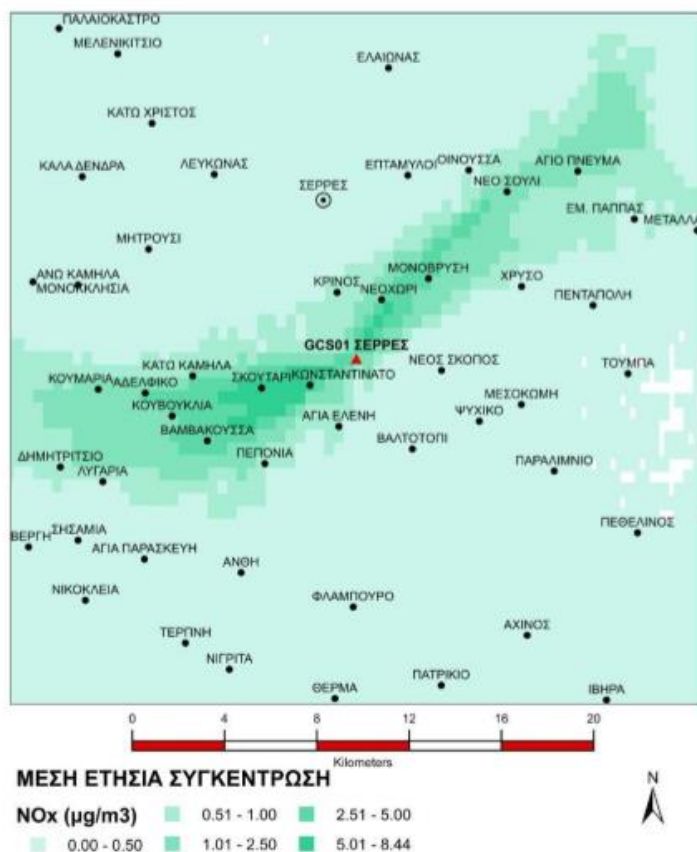


Εικόνα 9. Απεικόνιση διασποράς μικροσωματιδίων με το μοντέλο Euler για την περιοχή της Θεσσαλονίκης^[12]

Τα μοντέλα Euler θεωρούν την διασπορά εντός ενός χώρου και συνήθως καλείται box(κουτί) λόγω σχήματος, στον οποίο οι μολυντές δημιουργούν έναν ομοιόμορφο όγκο. Για την θεώρηση την διασποράς σε μια πόλη για παράδειγμα χρησιμοποιείται η τεχνική του multi-boxing ουσιαστικά της θεώρησης πολλών συστοιχιών με "κουτιά" των οποίων η κίνηση στο κάθετο επίπεδο περιορίζεται από το έδαφος και από τον ορισμό μιας μέγιστης βάσης, ενώ στο οριζόντιο επίπεδο

από την φορά και την ένταση του ανέμου. Το όφελος αυτού του μοντέλου είναι το χαμηλό του κόστος σε επεξεργαστική ισχύ και η δυνατότητα χρήσης για περιοχές με άγνωστα μετεωρολογικά στοιχεία.

Τα μοντέλα Lagrange αποτελούν την πιο αντικειμενική προσέγγιση της



Εικόνα 10. Μέση ετήσια συγκέντρωση NOx με την μέθοδο Lagrange για την περιοχή των Σερρών^[13]

διασποράς. Η διαφορά του είναι στην θεώρηση της διασποράς ως μια κίνηση μιας συγκεκριμένης μάζας σε σχέση με τον χρόνο. Επίσης καθιστούν δυνατή την χρήση μεγάλης ποικιλίας μετεωρολογικών δεδομένων. Το πλεονέκτημα τους είναι η πολύ ρεαλιστική προσέγγιση στην έκφραση της διασποράς στο χρόνο αλλά υστερούν στο τομέα της επεξεργαστικής ισχύς γιατί έχουν πολύ μεγάλες απαιτήσεις. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται από φορείς και διεθνείς οργανισμούς, για την λεπτομερή απεικόνιση και μελέτη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

2.3 Απεικόνιση της διασποράς των εκπομπών από την Ναυτιλία

Το φαινόμενο της διασποράς ρύπων για τον κλάδο της ναυτιλίας διαθέτει ιδιαίτερη σημασία γιατί οι εκπομπές που προέρχονται από την δραστηριότητα των πλοίων αποτελούν ένα από τα βασικότερα ζητήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η εκτίμηση του και η αποτύπωση του γραφικά δεν αποτελεί εύκολο αντικείμενο έρευνας και μελέτης για τον λόγο ότι πρέπει να επιλυθούν πρωτίστως αντικειμενικές δυσκολίες. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση από τον συγκεκριμένο κλάδο άρχισε να μελετάτε τις τελευταίες δεκαετίες. Γεγονός που θέτει τις μελέτες σε πολύ πρώιμο στάδιο σε σύγκριση με άλλους τομείς όπως για παράδειγμα της ενέργειας και του αυτοκινήτου.

Ωστόσο τα αντικειμενικά προβλήματα που καλούνται να αντιμετωπιστούν είναι η μεγάλη ποικιλία σε τύπους πλοίων που κινούνται καθημερινά, ο μεγάλος αριθμός τους και το ότι τα πλοία δεν αποτελούν σταθερές πηγές εκπομπής παρά μόνο όταν είναι σε λιμάνι. Αυτοί οι παράγοντες αποτελούν τους βασικότερους

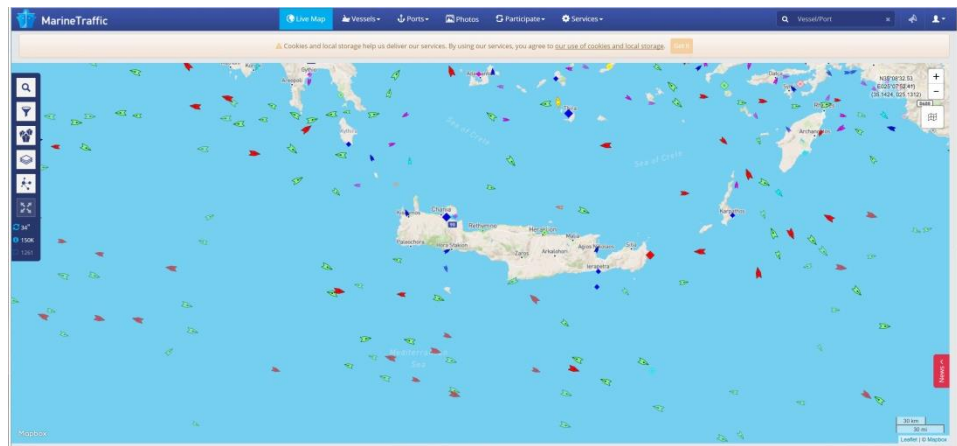
πυλώνες στους οποίους πρέπει να στηριχθούν τα μοντέλα διασποράς και να γίνουν οι απαραίτητες παραδοχές προκειμένου να καταστεί δυνατή η μελέτη τους.

Τα μοντέλα που προτιμούνται κυρίως για την διασπορά των εκπομπών είναι τα μοντέλα Lagrange και τα μοντέλα Gauss λόγω των δυνατοτήτων που διαθέτουν για επεξεργασία των ρύπων σε συνδυασμό με τις μετεωρολογικές και ατμοσφαιρικές συνθήκες. Τα μοντέλα Lagrange μάλιστα υπερτερούν σε θέμα προσέγγισης της διασποράς για το λόγο ότι η εκπομπή ρύπων κατά την διάρκεια της κίνησης του πλοίου αντιστοιχεί στην κινουμένη μάζα που αναλύει το μοντέλο. Βέβαια το πρόβλημα είναι, όπως αναφέρεται και στο προηγούμενο κεφάλαιο οι μεγάλες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ, σημείο που υπερτερεί το μοντέλο Gauss. Επίσης το πλεονέκτημα του μοντέλου Gauss είναι ότι μπορεί να υπολογίσει πολύ πιο εύκολα εκπομπές ρύπων που αντιστοιχούν σε μεγάλες χρονικές περιόδους, όπως για παράδειγμα ενός έτους για τον λόγο ότι υπολογίζει την διασπορά για μόνιμες καταστάσεις. Το μειονέκτημα του συγκεκριμένου μοντέλου είναι ότι πρέπει να γίνει η παραδοχή πως η πορεία του καραβιού αντιστοιχεί σε μεμονωμένες σημειακές πηγές και να εξεταστεί η κάθε μία διαδοχικά ως σταθερή πηγή.

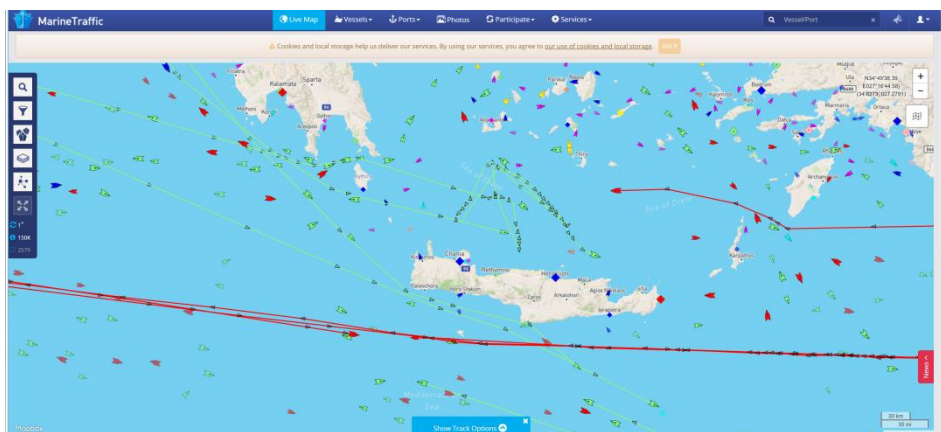
Επιπλέον η σωστή αποτύπωση του προβλήματος για τον κλάδο της ναυτιλίας προϋποθέτει την εξέταση ορισμένων παραγόντων που επηρεάζουν την διασπορά και οι οποίοι είναι η ποικιλομορφία που παρουσιάζουν οι ρύποι ανάλογα με τον τύπο του πλοίου αλλά και το είδος μηχανής που είναι εγκατεστημένη, τα υψηλά επίπεδα υγρασίας για τον λόγο ότι η μεγαλύτερη ποσότητα εκπεμπόμενων ρύπων γίνεται στην θάλασσα και η διαρκής διέλευση πλοίων με διαφορετικά χαρακτηριστικά από συγκεκριμένες περιοχές. Το τελευταίο αποτελεί τον πιο σύνθετο παράγοντα γιατί η ατμόσφαιρα δέχεται μια συνεχή επιβάρυνση από διαφορετικές ποικιλίες ρύπων και για να εξαχθεί ασφαλές συμπέρασμα πρέπει οι μετρήσεις που θα γίνουν να εμπεριέχουν την χρονική διάρκεια της εκάστοτε εκπομπής και την διασπορά που έχει δημιουργηθεί μέχρι την επόμενη εκπομπή στην περιοχή, ώστε το αποτέλεσμα που θα προκύψει να είναι το άθροισμα της παλιάς με την νέα κατάσταση στην περιοχή. Αυτό το φαινόμενο είναι πολύ σύνηθες στις θαλάσσιες μετακινήσεις για τον λόγο ότι τα περισσότερα δρομολόγια πλοίων κινούνται πάνω σε προκαθορισμένες διαδρομές. Στην εικόνα 11 εμφανίζεται ένα ενδεικτικό παράδειγμα κοινών διαδρομών που ακολουθούν τα πλοία^[14].



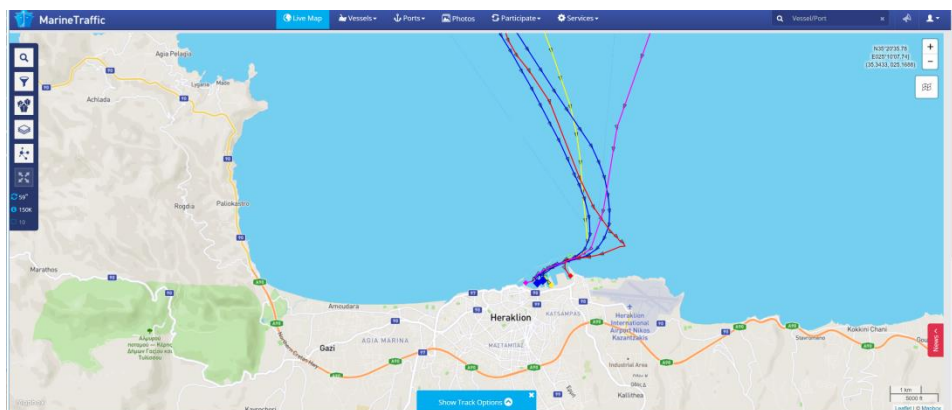
Εικόνα 11. Κοινή διαδρομή για 3 πλοία



Εικόνα 14. Θαλάσσια περιοχή γύρω από την Κρήτη^[14]



Εικόνα 13. Διαδρομές πλοίων για την θαλάσσια περιοχή γύρω από την Κρήτη^[14]



Εικόνα 12. Διαδρομές πλοίων από το λιμάνι του Ηρακλείου^[14]

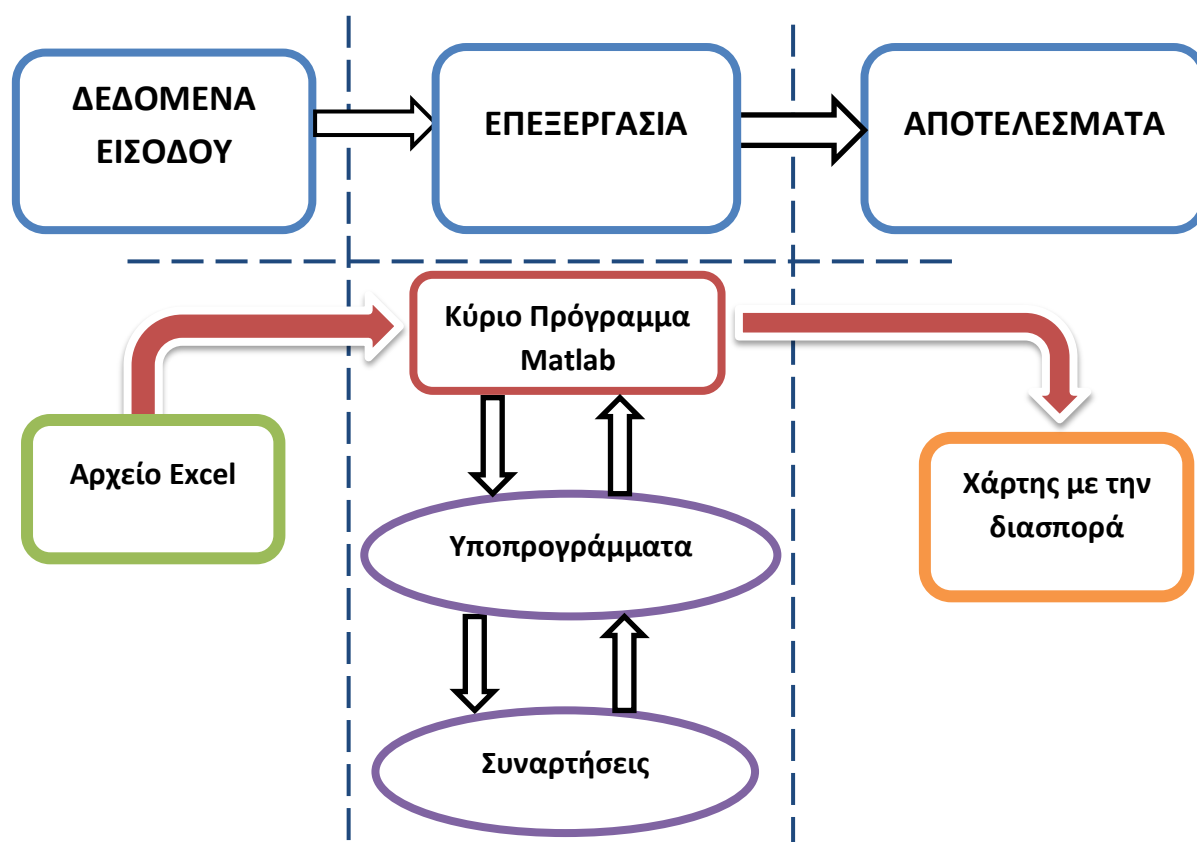
Από τις παραπάνω εικόνες γίνεται αντιληπτό το ότι οι εκπομπές των πλοίων μεμονωμένα δεν αποτελούν μεγάλη επιβάρυνση για την ατμόσφαιρα, αλλά λόγω του αριθμού που πλέουν καθημερινά και της κοινής διαδρομής που ακολουθούν, οι συγκεντρώσεις των ρύπων επιδρούν σε αθροιστικό επίπεδο με αποτέλεσμα να έχουμε μια διαρκή επιβάρυνση κατά την χρονική διάρκεια που λαμβάνουν χώρο οι εκπομπές. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της εικόνας 12, όπου έχουμε πέντε διαδρομές πλοίων, όπου μέχρι ένα σημείο ακολουθούν κοινή πορεία. Το γεγονός αυτό καθιστά την αντιμετώπιση του προβλήματος μείζων ζήτημα της παγκόσμιας κοινότητας.

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

3.1 Γενική περιγραφή του συστήματος

Το σύστημα που περιγράφεται στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αφορά την υλοποίηση πληροφοριακού συστήματος που απεικονίζει την διασπορά των τριών κύριων αέριων ρύπων που παράγουν τα πλοία σε όλες τις φάσεις της δραστηριότητάς τους (πλεύση, ελιγμούς και παραμονή τους σε λιμάνι). Το σύστημα ακολουθεί την γενική μορφή ενός συμβατικού μοντέλου επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων τριών σταδίων. Αποτελείται δηλαδή από την Είσοδο, την Επεξεργασία και την Έξοδο. Στο πρώτο στάδιο της Εισόδου αφορά την είσοδο των δεδομένων από τον χρήστη σε ένα αρχείο Excel με κατάλληλη διάταξη προκειμένου να μπορούν να αναγνωστούν από το πρόγραμμα. Εν συνεχεία το δεύτερο στάδιο της Επεξεργασίας αφορά την έναρξη της διαδικασίας ανάλυσης των δεδομένων εισόδου που γίνεται με την εκτέλεση του προγράμματος στην Matlab και το τρίτο στάδιο της Εξόδου αφορά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων του προγράμματος έτσι ώστε να μπορούν να αξιολογηθούν και να εξαχθούν τυχόν συμπεράσματα ή να γίνει η περαιτέρω ανάλυση τους.

Στο γράφημα 1 παρουσιάζεται η ροή λειτουργίας του συστήματος.



Γράφημα 1. Ροή λειτουργίας του συστήματος

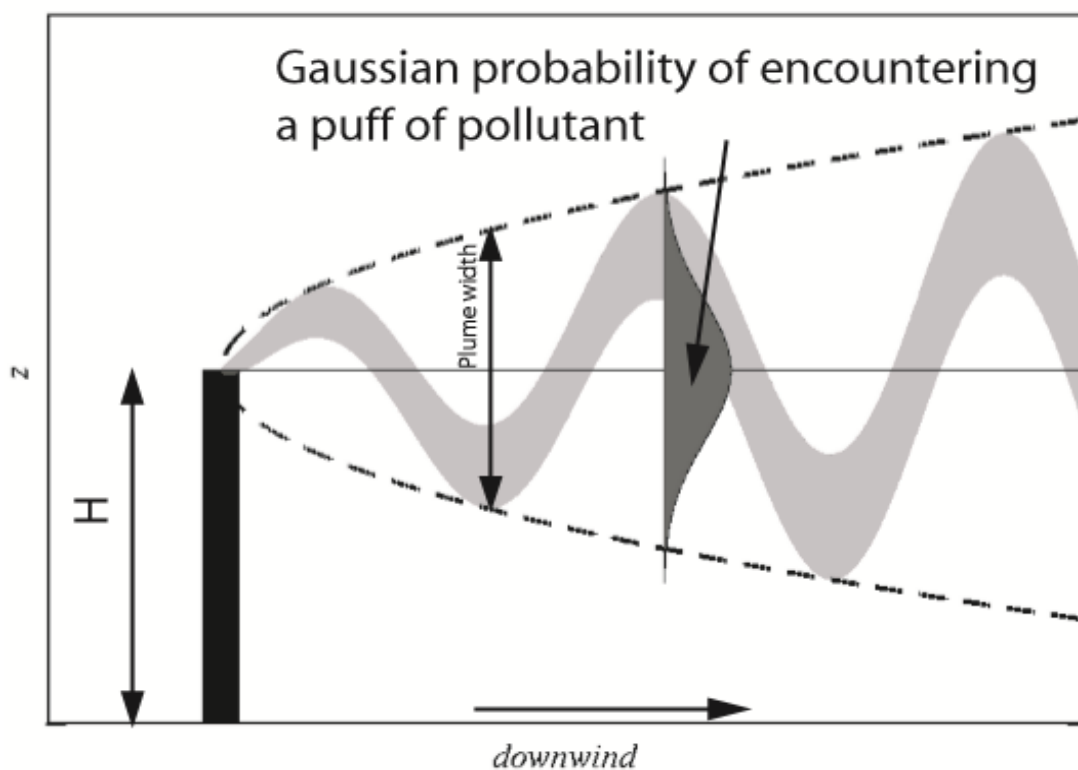
3.2 Συνάρτηση διάχυσης Gauss (Gaussian Plume)

Η συνάρτηση Gauss μας αποτελεί μια αξιόπιστη συνάρτηση για την ανάλυση της διασποράς κυρίως αέριων ρύπων γιατί προσφέρει μια ευρεία γκάμα μεταβλητών, (όπως ταχύτητα και φορά αέρα, υγρασία) που μπορούν να ληφθούν υπόψη για την πιο ακριβή μελέτη και σωστή εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Ωστόσο η συνάρτηση διάχυσης Gauss λειτουργεί με την επεξεργασία δεδομένων από αρκετές χρονικές στιγμές γιατί δεν μπορεί να δώσει αντικειμενικό αποτέλεσμα για στιγμιαία χρονική απόκριση για τον λόγο ότι η χρονική της μεταβολή δεν ορίζεται σε αυτούσια μεταβλητή εισόδου και η συνάρτηση εκφράζει μόνιμες καταστάσεις. Η βασική δομή της σε δισδιάστατο επίπεδο είναι η εξής:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

Όπου σ_y & σ_z εξαρτώνται από την ατμοσφαιρική σταθερότητα και έχουν σταθερές τιμές ανάλογα με την περίπτωση που μελετάμε ^[15].

Για παράδειγμα σε σταθερή ατμοσφαιρική κατάσταση ο ρύπος μπορεί να ταξιδέψει μεγάλες αποστάσεις μέχρι να διαλυθεί.



Εικόνα 15. Σενάριο σχηματικής απεικόνισης σε κάθετο επίπεδο, όπου H το ύψος της εκπομπής

Μεταβλητές	Ερμηνεία
Q	Η ποσότητα του εκπεμπόμενου ρύπου
u	Η ταχύτητα του ανέμου
H	Το ύψος της εκπομπής
x	Καρτεσιανές συντεταγμένες της πηγής
y	Καρτεσιανές συντεταγμένες της πηγής
z	Καρτεσιανές συντεταγμένες της πηγής
σ_z	Μεταβλητή διασποράς για με βάση την ατμοσφαιρική σταθερότητα
σ_y	Μεταβλητή διασποράς για με βάση την ατμοσφαιρική σταθερότητα

Πίνακας 9. Μεταβλητές και Ερμηνεία τους για την συνάρτηση διασποράς Gauss

Ο παράγοντας του χρόνου όπως παρατηρούμε και επισημάναμε και προηγουμένως δεν αποτελεί άμεσο όρισμα στην συνάρτηση αλλά ορίζεται ως ο δευτερογενές όρισμα στα δεδομένα εισόδου για τους ρύπους και τις μετεωρολογικές συνθήκες. (π.χ. η ποσότητα Q αντιστοιχεί για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα).

Η συνάρτηση σαν κομμάτι του κώδικα στην Matlab έχει την παρακάτω μορφή:

```
>> C(ind)=Q./(2.*pi.*u1.*sig_y(ind).*sig_z(ind)) ...
.*exp(-crosswind(ind).^2./(2.*sig_y(ind)).^2).* ...
(exp(-(z(ind)-H).^2./(2.*sig_z(ind).^2))+ ...
exp(-(z(ind)+H).^2./(2.*sig_z(ind).^2)) );
```

και ουσιαστικά αποτελεί την προγραμματιστική έκφραση της συνάρτησης διασποράς Gauss, που αναλύσαμε παραπάνω.

Ωστόσο, για να υλοποιηθεί και να εκτελεστεί η συνάρτηση διασποράς Gauss με βάση τις μεταβλητές που είναι επιθυμητό να ληφθούν υπ' όψιν, προηγείται μια σειρά αλληλουχιών και εντολών που καθιστούν δυνατό προς επεξεργασία το σύνολο των δεδομένων που διατίθενται όπως φορά του αέρα, γεωγραφικό στίγμα, υγρασία και άλλες μεταβλητές που παραθέτονται αναλυτικά σε επόμενη ενότητα.

3.3 Δομή και Ανάλυση του Συστήματος

Το σύστημα βασίζεται στο μοντέλο Gauss (Gaussian Plume) για πολλαπλά σταθερά σημεία. Η συνάρτηση υλοποιείται σε βήμα χρόνου μιας ώρας και το σύνολο των μετρήσεων αποτελεί το σύνολο των επαναλήψεων που γίνονται για την τελική αποτύπωση της διασποράς. Ως συνολική χρονική διάρκεια του συστήματος θεωρείται ένα εικοσιτετράωρο. Ενώ ως παραμέτρους θεωρεί τις μεταβλητές εισόδου. Επίσης διαθέτει την δυνατότητα να φέρει εις πέρας κάθε διεργασία ανεξάρτητα από το μέγεθος των δεδομένων και των μεταβλητών αρκεί να πληρούνται οι προϋποθέσεις που θέτονται στα δεδομένα εισόδου.

Το εύρος που καλύπτεται είναι 600 τετραγωνικά χιλιόμετρα και αφορά την περιοχή του κεντρικού και νοτίου Αιγαίου. Η επιλογή του συγκεκριμένου γεωγραφικού εύρους έγινε για λόγους επεξεργαστικής ισχύς του συστήματος μας αλλά και για πιο κατανοητή απεικόνιση των δεδομένων εξόδου.

Το σύστημα μας βασίζεται σε κώδικα Matlab, προκειμένου να παρέχει όλες τις δυνατότητες προγραμματιστικής ευελιξίας αλλά και τυχών μελέτης ή επέκτασης του και απαρτίζεται από πέντε αρχεία κώδικα, ένα αρχείο εικόνας και ένα αρχείο Excel με τα δεδομένα εισόδου.

Κίνητρο για την υλοποίηση του συγκεκριμένου συστήματος είναι η δημιουργία ενός μοντέλου διασποράς που θα μπορεί να γίνει αντιληπτό και εύκολα κατανοητό τόσο από εξειδικευμένους χρήστες όσο και από απλούς ενδιαφερόμενους. Επιπλέον μπορεί να δώσει μια αρκετά ικανοποιητική εικόνα για την κατάσταση που επικρατεί στον τομέα της ναυτιλίας και την σχέση του με την ατμοσφαιρική ρύπανση

3.3.1 Δεδομένα Εισόδου (αρχείο Excel)

Το πρόγραμμα όπως αναφέρεται και προηγουμένως διαθέτει μια ποικιλία δεδομένων και μεταβλητών προς επεξεργασία. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν τα δεδομένα εισόδου και είναι τα εξής :

- **Χαρακτηριστικά πλοίου**

Ημερομηνία και Ώρα της μέτρησης

Ονομασία πλοίου

Γεωγραφικό μήκος

Γεωγραφικό πλάτος

- **Χαρακτηριστικά ρύπων**

Τιμές για εκπομπές οξειδίων του Αζώτου (NO_x)

Τιμές για εκπομπές οξειδίων του Θείου (SO_x)

Τιμές για εκπομπές Μικροσωματιδίων ($\text{PM}_{2.5}$)

- Μετεωρολογικά χαρακτηριστικά

Ταχύτητα αέρα

Διεύθυνση αέρα

Τα παραπάνω στοιχεία αφορούν όλες τις μεταβλητές εισόδου που καλείται ο χρήστης ή ο ενδιαφερόμενος να εισάγει σε ένα αρχείο Excel με την διάταξη που φαίνεται παρακάτω :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	Ημ/νία και Ώρα της μέτρησης	Ονομασία πλοίου	Γεωγραφικό μήκος	Γεωγραφικό πλάτος	!	(NO _x)	(SO _x)	(PM _{2.5})	Ταχύτητα αέρα	Διεύθυνση αέρα
3	.....	.....	.....	.....	!	.....	.....	.....	.....	.....
4	.....	.....	.....	.....	!	.....	.....	.....	.....	.....

Πίνακας 10.Μορφή και διάταξη αρχείου Excel για την εισαγωγή των δεδομένων εισόδου

Οπότε όπως φαίνεται και παραπάνω οι τιμές θα εισέρχονται από την 3^η σειρά και κάτω από την εκάστοτε στήλη ανάλογα με την μέτρηση. Οι μονάδες μέτρησης για το γεωγραφικό στίγμα είναι σε δεκαδική μορφή για τους ρύπους σε (kg) για την διεύθυνση του αέρα σε μοίρες σε σχέση με τον βορά και για την ταχύτητα του ανέμου σε (m/s). Επιπλέον οι τιμές για τα χαρακτηριστικά του πλοίου και των ρύπων είναι όσες και η μετρήσεις ενώ για τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά είναι όσες και οι ώρες που διαρκούν οι μετρήσεις.

Τα υπόλοιπα δεδομένα όπως υγρασία , διάμετρος της γης , χημικά χαρακτηριστικά των ρύπων θεωρούνται δεδομένα και δεν χρειάζεται από τον χρήστη να τα εισάγει, και σε περίπτωση αλλαγής τους πρέπει να επέμβει στον κώδικα του προγράμματος.

3.3.2 Επεξεργασία δεδομένων (κώδικας Matlab)

Για την επεξεργασία των δεδομένων όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η σύνταξη του προγράμματος έχει γίνει στην Matlab με κύριο κορμό την συνάρτηση διασποράς Gauss. Ο κώδικας που αξιοποιήθηκε ως βάση έχει αντληθεί από τα ανοιχτά αρχεία (open source) για ακαδημαϊκούς σκοπούς από το πανεπιστήμιο του Manchester ^[16]. Τα αρχεία που απαιτήθηκαν είναι τα εξής :

- **gaussian_plume_model_sample.m**
- **gauss_func.m**
- **calc_sigmas.m**
- **overlay_on_map.m**

Τα αρχεία αυτά αποτέλεσαν την βασική δομή του προγράμματος μας ,ωστόσο για να μπορέσουν να γίνουν συμβατά με τα δεδομένα εισόδου του συστήματος χρειάστηκε παραμετροποίηση τους, η οποία αναλύεται παρακάτω σε όλη την έκταση τους. Επιπλέον ήταν απαραίτητη η σύνταξη ενός ακόμα αρχείου κώδικα προκειμένου να αυτοματοποιηθεί η εισαγωγή των δεδομένων να τροποποιηθούν σε κατάλληλη μορφή προς επεξεργασία. Το αρχείο αυτό είναι το παρακάτω :

- **lat_lon.m**

Το σύνολο των παραπάνω αρχείων αποτελεί τον πυρήνα που διέπουν την δομή του συστήματος. Για την δημιουργία τους και την εκτέλεση τους χρειάστηκε το προγραμματιστικό περιβάλλον της Matlab έκδοσης του πρώτου εξαμήνου του 2013 (Matlab R2013a).

Η ανάλυση του προγράμματος επιτυγχάνεται παρακάτω με την εξέταση των επιμέρους αρχείων που αναφέρονται προηγουμένως. Το αρχείο overlay_on_map.m εξαιρείται από την ενότητα αυτή γιατί αφορά την θεματική ενότητα της εξαγωγής των δεδομένων προς τον χρήστη και δεν αποτελεί μέρος της επεξεργασίας των δεδομένων. Η ανάπτυξη των αρχείων γίνεται για το καθένα ξεχωριστά και επεξηγούνται ανά τμήματα κώδικα προκειμένου να γίνει κατανοητή η κάθε διεργασία και εντολή που εκτελεί ο κώδικας την εκάστοτε χρονική στιγμή και στο εκάστοτε βήμα προσπέλασης των δεδομένων .

Αρχείο lat lon.m

Το συγκεκριμένο αρχείο Mat lab είναι απαραίτητο για την εισαγωγή των δεδομένων ως μεταβλητές αλλά και μετατροπή τους σε κατάλληλη μορφή προς

επεξεργασία. Επίσης γίνεται και η εισαγωγή κάποιων σταθερών μεταβλητών ,όπως η διάμετρος της γης.

Πιο συγκεκριμένα :

Οι πρώτες εννέα σειρές κώδικα αφορούν τον άνοιγμα του αρχείου δεδομένων του Excel και την εισαγωγή των τιμών στις κατάλληλες μεταβλητές με την εντολή **xlsread()** να επαναλαμβάνεται για κάθε μεταβλητή αντίστοιχα και να έχει ως όρισμα το όνομα του αρχείου και την στήλη της μεταβλητής που εισάγει αντίστοιχα. Η σύνταξη της εντολής στο κώδικα είναι η παρακάτω:

```
>> lat= xlsread(filename,1, 'D:D');
```

Οι μεταβλητές αυτές με τις ερμηνείες τους παραθέτονται στον πίνακα 11 παρακάτω.

	Μεταβλητές	Ερμηνεία
1	lat	Γεωγραφικό πλάτος
2	lon	Γεωγραφικό μήκος
3	ManeuveringNOX	Εκπομπές οξειδίων του Αζώτου
4	ManeuveringSOX	Εκπομπές οξειδίων του Θείου
5	ManeuveringPM	Εκπομπές μικροσωματιδίων
6	wind_speed	Ταχύτητα αέρα
7	wind_dir	Κατεύθυνση αέρα
8	timestamp	Ημ/νία και ώρα μετρήσεων

Πίνακας 11. Μεταβλητές και Ερμηνεία των δεδομένων εισόδου στο αρχείο lat_lon.m

Στις σειρές 10-14 του κώδικα ορίζονται οι μεταβλητές του γεωγραφικού στίγματος ως τιμές του καρτεσιανού συστήματος με την εντολή **deg2rad()** και το σημείο που θεωρούμε ως κέντρο για το σύστημα .

Στην συνέχεια μέχρι την σειρά 35 πραγματοποιείται μια επαναληπτική διαδικασία με την οποία υπολογίζεται η κάθετη απόσταση, από την αρχή των αξόνων, των σημείων ως προς το γεωγραφικό μήκος και καταχωρείται στην μεταβλητή Y(i) η οποία αντιστοιχεί και στον άξονα y.

Οι σειρές 37-39 αφορούν την επεξεργασία της ημερομηνίας. Ουσιαστικά η ημερομηνία και η ώρα μετατρέπονται σε κατάλληλη μορφή προς επεξεργασία με την εντολή **datevec()** δημιουργώντας έτσι ένα πίνακα 6 στηλών που αντιστοιχούν στην εξής διάταξη για ημερομηνία και ώρα “ YYYY , MM , DD , HH , MM , SS “.

Στην τελευταία επαναληπτική διαδικασία (σειρές 41 – 62) γίνεται ο υπολογισμός της οριζόντιας απόστασης, από την αρχή των αξόνων, των σημείων ως προς το γεωγραφικό μήκος και η μεταβλητή που τις εμπεριέχει είναι η $X(i)$ που και αυτή με την σειρά της παραπέμπει στον άξονα x του καρτεσιανού συστήματος. Επιπλέον γίνεται η καταχώρηση των 3 ρύπων σε πιο πρακτικές μεταβλητές ως προς την ονομασία και αναγνώριση τους για ευκολότερη χρήση τους στον κώδικα.

Τέλος το αρχείο ολοκληρώνει μια πλήρη εκτέλεση με την μεταφορά των μεταβλητών απόστασης, του αριθμού το μετρήσεων και του ύψος των εκπομπών σε ένα πίνακα (source) με τέσσερα διαφορετικά ορίσματα για καλύτερη χρήση και αναγνώριση των μεταβλητών και των τιμών στο πρόγραμμα.

Αρχείο gaussian plume model sample.m

Το αρχείο αυτό αποτελεί το κύριο μέρος του συστήματος. Η εκτέλεση του gaussian_plume_model_sample.m σηματοδοτεί την εκτέλεση των υπόλοιπων υποπρογραμμάτων και συναρτήσεων με την κατάλληλη χρονική αλληλουχία προκειμένου να καταστεί δυνατή η εξαγωγή των επιθυμητών αποτελεσμάτων. Επίσης γίνονται οι τελευταίες αρχικοποιήσεις και ορίζονται όλες οι απαραίτητες σταθερές για την ορθή και ομαλή λειτουργία του συστήματος και την αποφυγή συντακτικών ή λογικών σφαλμάτων.

Πιο συγκεκριμένα :

Από την σειρά 1 έως 23 ορίζονται με την αντίστοιχη σειρά :

1. Ο τύπος του γραφήματος που εξάγεται
2. Οι περιπτώσεις για την ατμοσφαιρική σταθερότητα
3. Οι ρύποι και τα χαρακτηριστικά τους
4. Οι διαστάσεις και η ανάλυση του γραφήματος

Εν συνεχεία γίνεται η εισαγωγή των δεδομένων από το αρχείο lat_lon.m, ορίζεται από μια σταθερή εντολή καταχώρησης η τιμή για την υγρασία και αρχικοποιείται η συνθήκη για την ατμοσφαιρική σταθερότητα.

Από την σειρά 47-63 ξεκινάει η λειτουργία του προγράμματος με πρώτο βήμα να αποτελεί η επιλογή της κατάλληλης ατμοσφαιρικής σταθερότητας ύστερα από την υπολογιστική διαδικασία όπου λαμβάνονται υπόψη όλες οι μετεωρολογικοί παράγοντες. Δεύτερο βήμα είναι η αρχικοποίηση του πίνακα των διασπορών και του πλέγματος που επρόκειτο να αποτυπωθεί στο γράφημα.

Στις σειρές 67-73 το πρόγραμμα αλληλεπιδρά με τον χρήστη με την παρακάτω εντολή :

```
>> prompt= 'Επιλογή τιμής 1-3 για τον εκάστοτε ρύπο ';
```

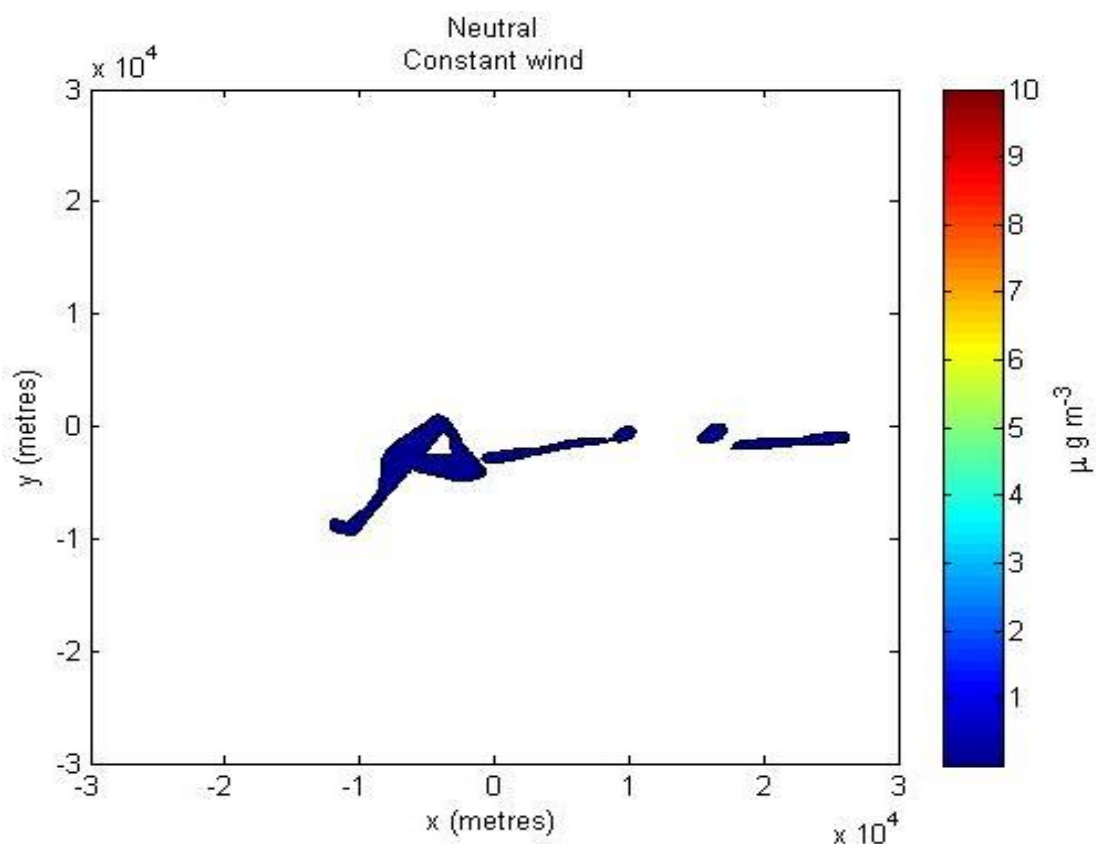
Καλώντας τον ουσιαστικά να επιλέξει έναν από τους τρεις διαθέσιμους ρύπους προκειμένου να εκτελεστεί ο κώδικας και να αποτυπώσει την διασπορά του επιθυμητού ρύπου.

Στις σειρές 77-94 λαμβάνει χώρο η κύρια επαναληπτική διαδικασία του συστήματος με την οποία για κάθε μέτρηση γίνεται κλήση της συνάρτησης **gauss_func.m** με την οποία καθίσταται δυνατή η επεξεργασία των δεδομένων και η ανάλογη καταχώρησή τους με την σειρά την οποία γίνεται η προσπέλασή τους στον πίνακα διασποράς.

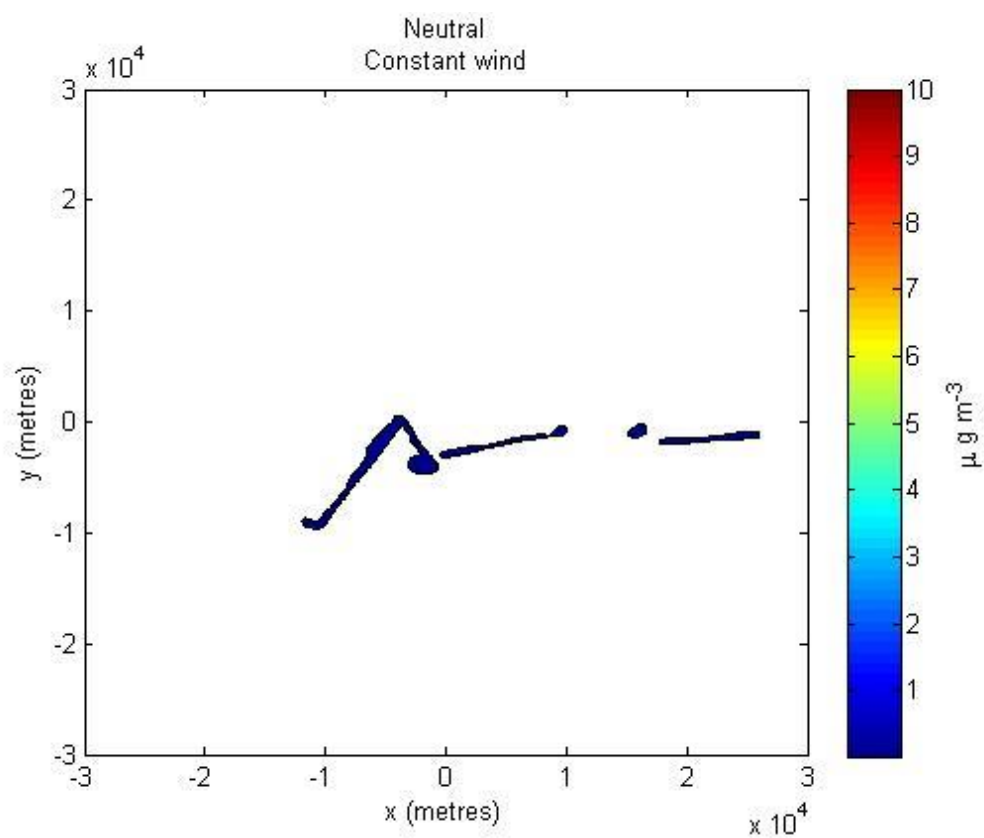
Με την ολοκλήρωση των επαναλήψεων το πρόγραμμα προβαίνει στην επεξεργασία των τιμών διασποράς σε συνδυασμό με την υγρασία που λαμβάνει χώρο στην περιοχή των μετρήσεων και τα χαρακτηρίστηκα του εκάστοτε ρύπου για τον οποίο έγινε η επιλογή από τον χρήστη. Η διαδικασία αυτή ολοκληρώνεται με την τελική αναδιαμόρφωση του πίνακα διασποράς με βάση και αυτές τις παραμέτρους.

Τέλος τον παρών αρχείο εξάγει και ένα τυπικό γράφημα προκειμένου να δώσει μια ενδεικτική εικόνα σχετικά με την ανάλυση που έκανε το σύστημα. Αυτό πραγματοποιείται στον κώδικα στις σειρές 106-120.

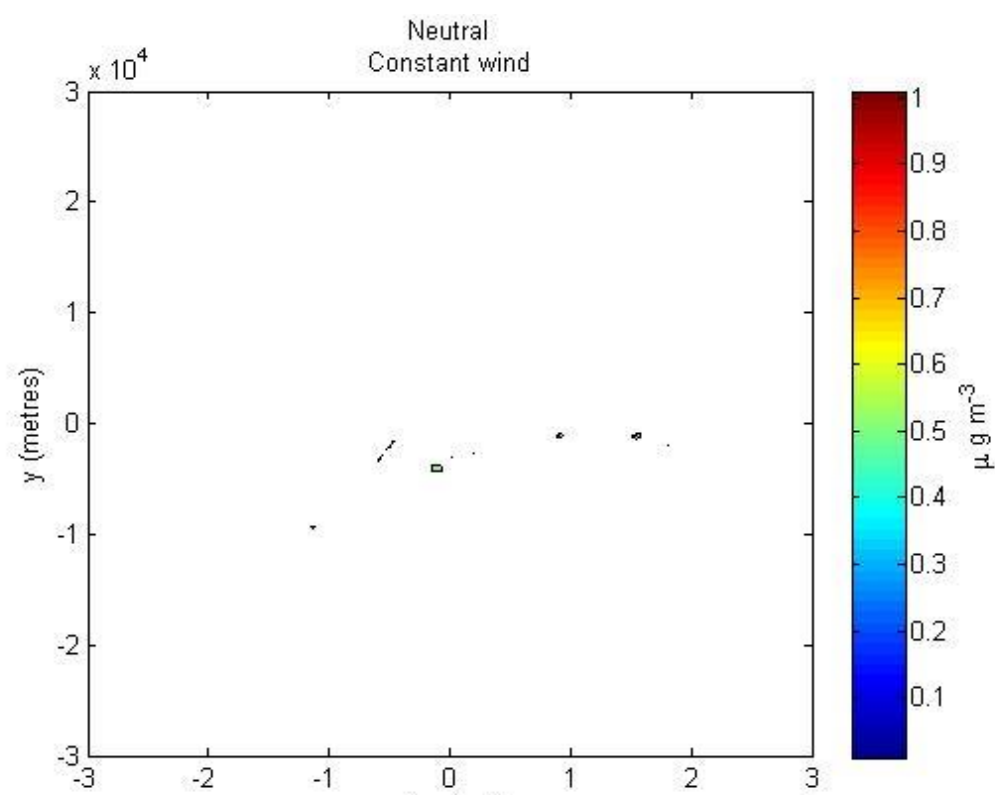
Στις εικόνες 16, 17 και 18 παρουσιάζονται τα ενδεικτικά διαγράμματα που εξάγει το πρόγραμμα.



Εικόνα 16. Ενδεικτικό γράφημα εκπομπής NO_x



Εικόνα 17. Ενδεικτικό γράφημα εκπομπής SO_x



Εικόνα 18. Ενδεικτικό γράφημα εκπομπής $\text{PM}_{2.5}$

Αρχείο gauss_func.m

Το αρχείο αυτό δεν αποτελεί αυτοτελές πρόγραμμα αλλά ουσιαστικά μια συνάρτηση που καλείται από το κύριο πρόγραμμα. Συγκεκριμένα όπως δικαιολογεί και το όνομα της αποτελεί την συνάρτηση διασποράς Gauss. Επίσης σε αντίθεση με τους δύο προηγούμενους κώδικες δεν πραγματοποιεί αρχικοποιήσεις ή ορισμούς σταθερών μεταβλητών. Το μόνο που πραγματοποιείται είναι η συλλογή των απαραίτητων τιμών εισόδου τις οποίες τροφοδοτεί το πρόγραμμα **gaussian_plume_model_sample.m** σε κάθε επαναληπτική διαδικασία που γίνεται η κλήση της και η διεκπεραίωση των κατάλληλων ενεργειών για την αξιοποίηση και επεξεργασία τους από την συνάρτηση.

Πιο συγκεκριμένα :

Στις σειρές 3 και 4 επιτυγχάνεται ο ορισμός της απόστασης από το κεντρικό σημείο ως προς την διεύθυνση x και y αντίστοιχα.

Από την γραμμή 6 έως 28 λαμβάνουν χώρο με αντίστοιχη σειρά οι εξής υπολογισμοί :

1. έκφραση της ταχύτητας ως διάνυσμα στον x , y άξονα αντίστοιχα (σειρές 7 & 8)
2. η γωνία μεταξύ x και y με την διεύθυνση του ανέμου
3. η προβολή του x και y με την διεύθυνση του ανέμου
4. η γωνία του ανέμου ως προς το σημείο (x,y)
5. η απόσταση από την πηγή
6. η απόσταση κατά μήκος του άνεμου
7. η απόσταση των πλευρικών ανέμων
8. ορισμός του μεγέθους του πίνακα και η αρχικοποίηση του

Στην σειρά 31 πραγματοποιείται η κλήση μιας ακόμα συνάρτησης, της **calc_sigmas.m** η οποία όπως αναφέρεται και παρακάτω είναι υπεύθυνη για τον ορισμό των τιμών της ατμοσφαιρικής σταθερότητας σ_y και σ_z .

Τέλος ο κώδικας ολοκληρώνεται με την επίλυση της συνάρτησης και την επιστροφή του πίνακα διασποράς στο κύριο πρόγραμμα (σειρές 33-36).

Αρχείο calc_sigmas.m

Το αρχείο αυτό αποτελεί όπως και το προηγούμενο μια συνάρτηση η οποία καλείται από την συνάρτηση **gauss_func.m** προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι κατάλληλοι έλεγχοι και να αποδοθούν οι απαραίτητες τιμές σχετικά με την ατμοσφαιρική σταθερότητα. Η συνάρτηση αυτή ουσιαστικά εξετάζει με βάση την κατά μήκος απόσταση του ανέμου και την κατηγορία σταθερότητας που έχουμε ποιες σταθερές θα χρησιμοποιηθούν.

Η κύρια δομή της απαρτίζεται από έξι υποθετικές διαδικασίες , όσες δηλαδή και οι πιθανές ατμοσφαιρικές καταστάσεις γεγονός που φαίνεται και στον

παρακάτω πίνακα. Η συνάρτηση περατώνεται με τον υπολογισμό των σ_y και σ_z και την επιστροφή των τιμών αυτών στην συνάρτηση **gauss_func.m** ώστε να ολοκληρωθεί η διαδικασία.

Στον πίνακα 12 εμφανίζονται όλες οι υποθετικές διαδικασίες που πραγματοποιεί ο κώδικας προκειμένου να καταλήξει στις επιθυμητές τιμές της ατμοσφαιρικής σταθερότητας.

Σειρές κώδικα	Κατάσταση ατμοσφαιρικής σταθερότητας
8-40	Πολύ ασταθής
41-54	Σχετικά ασταθής
55-61	Ελαφρώς ασταθής
62-84	Ουδέτερη
85-115	Σχετικά σταθερή
116-153	Πολύ σταθερή

Πίνακας 12. Υποθετικοί έλεγχοι για τις τιμές της ατμοσφαιρικής σταθερότητας για κάθε τμήμα του κώδικα

Η συνάρτηση αυτή χρησιμοποιήθηκε αυτούσια γιατί δεν χρειάζεται παραμετροποίηση για να ικανοποιήσει τα δεδομένα μας δεδομένου ότι οι τιμές που πραγματεύεται είναι ανεξάρτητες των μετρήσεων και του είδους των ρύπων.

3.3.3 Εξαγωγή αποτελεσμάτων στον χρήστη

Με την ολοκλήρωση του προγράμματος και την εκτέλεση του ο χρήστης προκειμένου να μπορέσει να μελετήσει τα αποτελέσματα της επεξεργασίας θα πρέπει να ανοίξει και να εκτελέσει τον υποπρόγραμμα **overlay_on_map.m**. Η εκτέλεση του αρχείου αυτού είναι το τελευταίο στάδιο του συστήματος μας.

Στο αρχείο αυτό εισάγουμε ένα αρχείο εικόνας με την ονομασία **map.jpeg** το οποίο αποτελεί τον χάρτη της περιοχής που λαμβάνουν χώρο οι μετρήσεις μας. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να εκτιμήσει την διασπορά στο χώρο και να βγάλει τα όποια συμπεράσματα.

Πιο συγκεκριμένα :

Ο κώδικας μας αρχίζει με την εισαγωγή του αρχείου εικόνας προς επεξεργασία. Στην συνέχεια ψηφιοποιείται σε επιμέρους σημεία ανάλογα με την ανάλυση και την έκταση που έχουμε ορίσει στο κύριο πρόγραμμα **gaussian_plume_model_sample.m** (300 x 300) . εφόσον ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία το πρόγραμμα ορίζει του τίτλους των αξόνων μας την θέση τους και την κλίμακα των αποτελεσμάτων. Με την εντολή **contour** εμφανίζεται η επιθυμητή διασπορά και στην συνέχεια θέτουμε στην παράμετρο της διαφάνειας του γραφήματος να είναι διάφανο το γέμισμα και να εμφανίζεται μόνο το περίγραμμα. Αυτό το επιλέγουμε προκειμένου να γίνεται πιο εύκολα αντιληπτή η έκταση που

καλύπτουν οι ρύποι. Επιπλέον δίνετε η δυνατότητα στον χρήστη να αποθηκεύσει το εν λόγω γράφημα για περεταίρω ανάλυση και μελέτη.

Στην εικόνα 19 εμφανίζονται οι χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν για την εμφάνιση των αποτελεσμάτων στα δύο σενάρια που εκτελέστηκαν.



Εικόνα 19. Χάρτης κεντρικού νοτίου Αιγαίου (πάνω) Χάρτης λιμανιού και πόλης Ηρακλείου (κάτω)

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

4.1 Αποτελέσματα

Η έρευνα που πραγματοποιήσαμε αφορούσε την δημιουργία του κατάλληλου συστήματος γραφικής απεικόνισης που αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα. Για την εγκυρότητα και την αποτελεσματικότητα του χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις που έγιναν σε εργαστηριακό περιβάλλον με την χρήση κατάλληλου εξοπλισμού για την συλλογή δεδομένων που αφορούν το γεωγραφικό στίγμα πλοίων και την ποσότητα των εκπεμπόμενων οξειδίων αζώτου, οξειδίων θείου και μικροσωματιδίων.

Τα δεδομένα τα οποία επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν αφορούν το κρουαζιερόπλοιο LOUIS AURA (EX ORIENT QUEEN) για το δρομολόγιο Ρόδος - Σαντορίνη – Χανιά που πραγματοποιήθηκε στις 30 Αυγούστου του 2015 και διήρκεσε περίπου 23 ώρες. Στην εικόνα 20 εμφανίζεται το πλοίο το οποίο μελετήθηκε^[17] και τα χαρακτηριστικά του πλοίου παρατίθενται στο πίνακα 13.



Εικόνα 20. Κρουαζιερόπλοιο LOUIS AURA (EX ORIENT QUEEN)

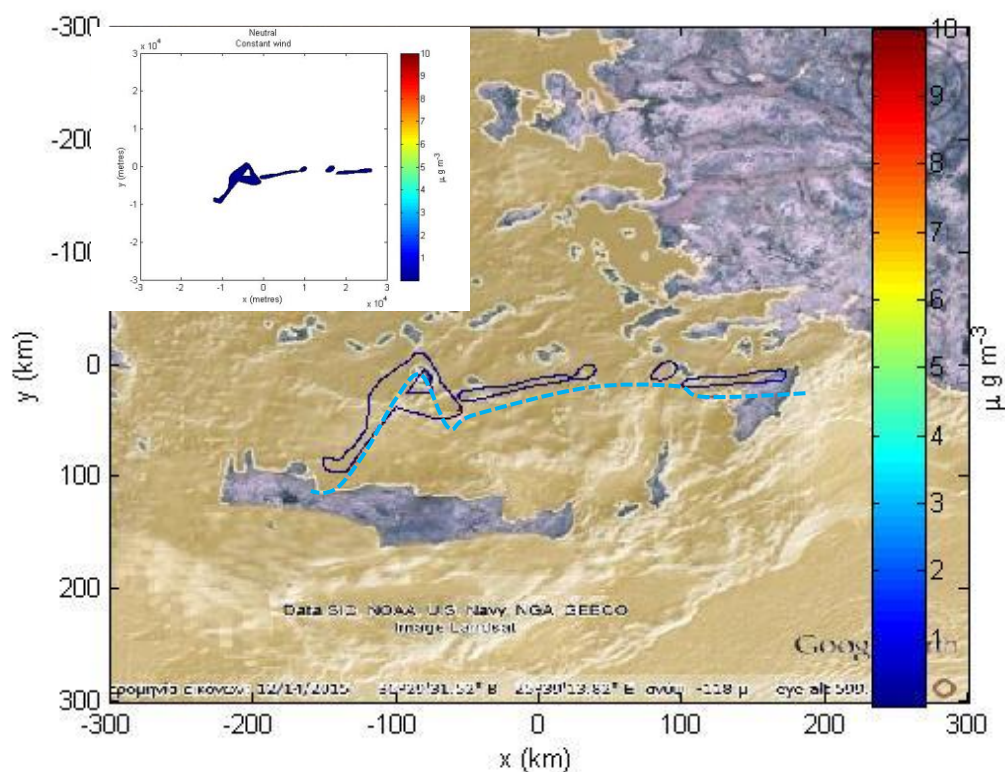
Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν απαρτίζονται από 292 μετρήσεις, και αφορούν τις 18 ώρες ταξιδιού από τις 23. Τα δεδομένα καταχωρήθηκαν στο αρχείο εισόδου Excel του συστήματος με τα κατάλληλα πρότυπα προκειμένου να είναι προσπελάσιμα.

Εν συνεχεία έγινε η εκτέλεση του προγράμματος gaussian_plume_model_sample.m. Οι χρονικές απαιτήσεις για την εκτέλεση του παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β. Το σύστημα ολοκληρώνεται με την εκτέλεση του αρχείου overlay_on_map.m. Η διαδικασία ενεργήθηκε τρεις φορές για να εξαχθούν τα αποτελέσματα διασποράς και για τους τρεις ρύπους αντίστοιχα

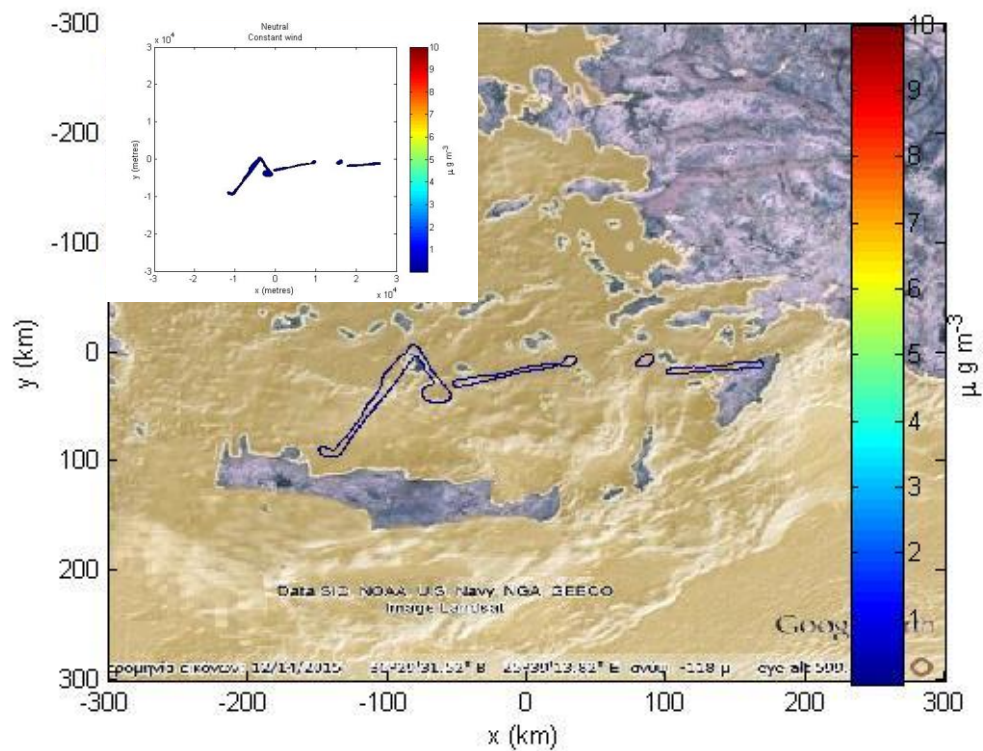
Όνομα πλοίου	LOUIS AURA (EX ORIENT QUEEN)
Έτος κατασκευής	1968
Ισχύς κύριας μηχανής (HP)	12782
Ισχύς εφεδρικής μηχανής (HP)	3350
Ισχύς βοηθητικών (HP)	3350
Σημαία	Μάλτα
Ολική χωρητικότητα Gt (tonne)	15781
Εκτόπισμα Dwt (tonne)	2516
Τύπος πλοίου	MSD
Αριθμός μηχανών	1
Αριθμός πιστονιών	4

Πίνακας 13. Χαρακτηριστικά πλοίου για το 1ο σενάριο

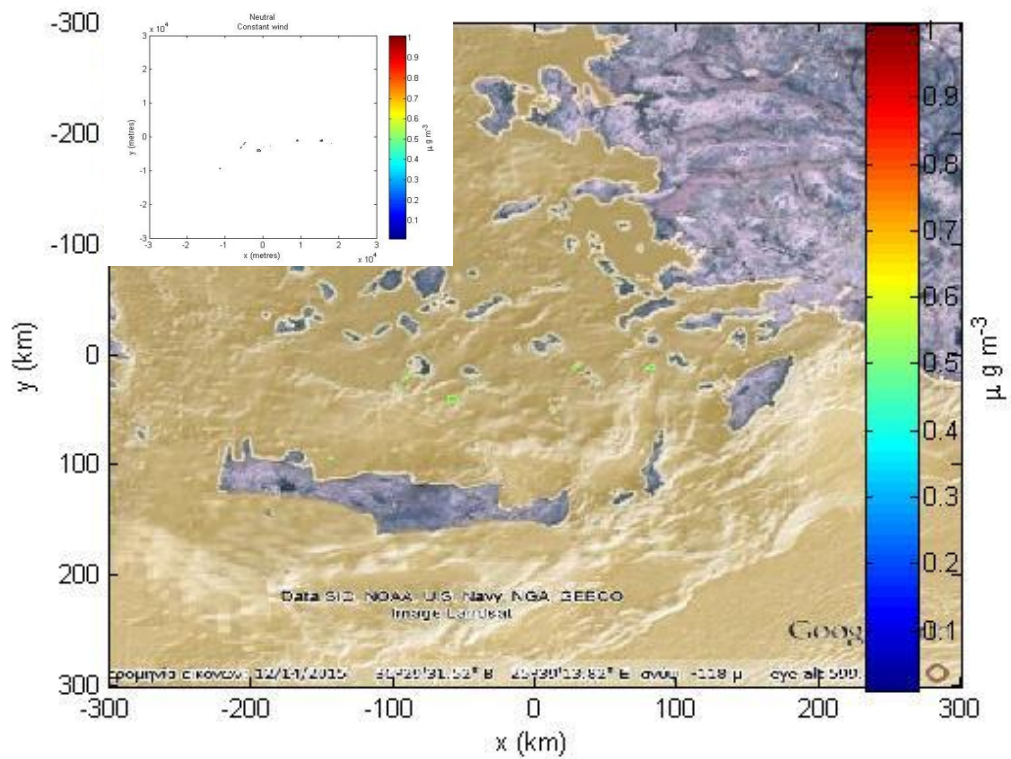
Τα αποτελέσματα με βάση τον ρύπο που μελετήθηκε παρουσιάζονται στις εικόνες 21, 22 και 23.



Εικόνα 21. Εκπομπές οξειδίων του αζώτου NO_x για όλη την διάρκεια του ταξιδιού

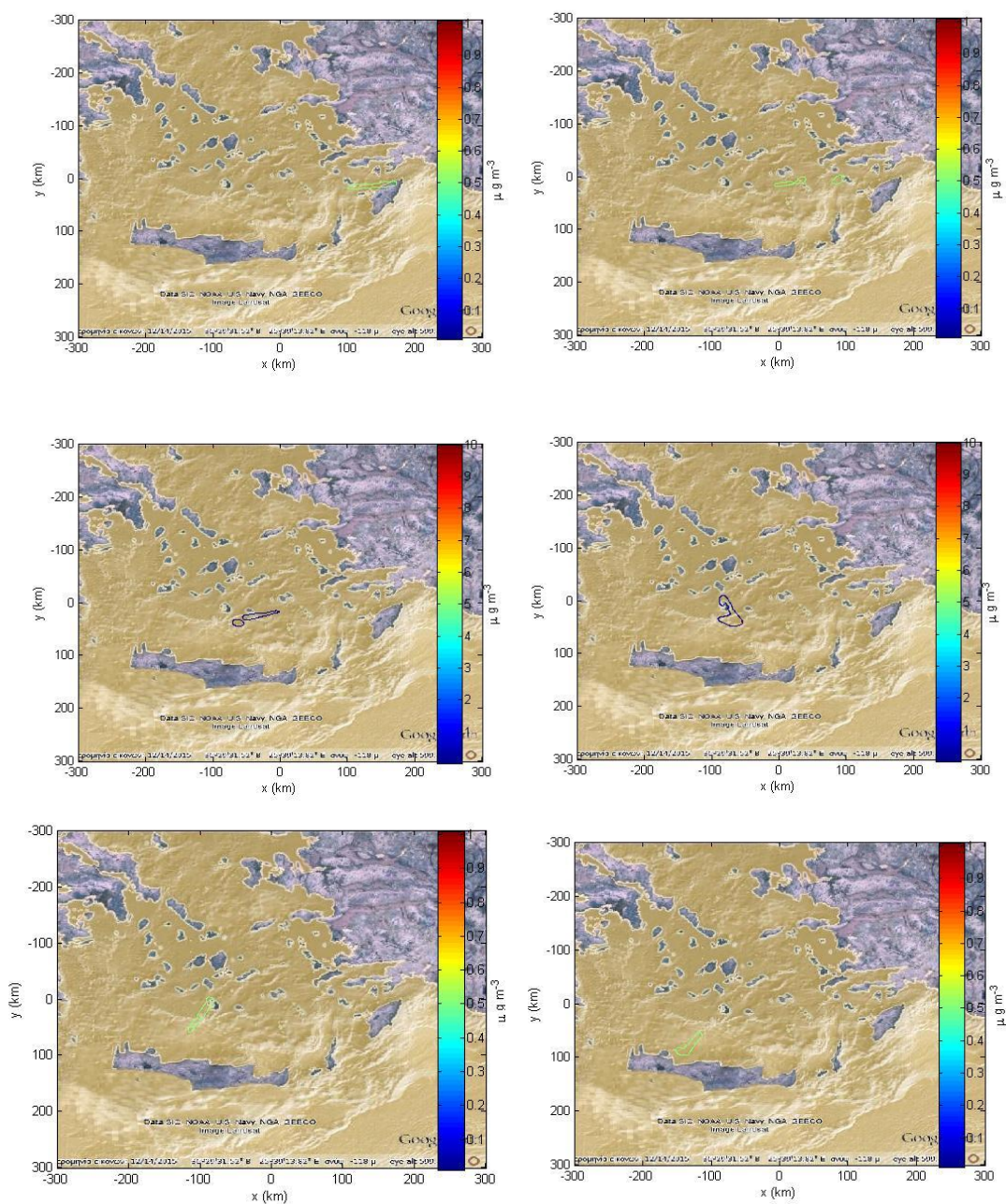


Εικόνα 23. Εκπομπές οξειδίων του θείου SO_x για όλη την διάρκεια του ταξιδιού



Εικόνα 22. Εκπομπές μικροσωματιδίων $PM_{2.5}$ για όλη την διάρκεια του ταξιδιού

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται οι εκπομπές για το ταξίδι του καραβιού σε διαστήματα 3 ωρών για τις εκπομπές NO_x .



Εικόνα 24 . Γραφική απεικόνιση των ρύπων με 3ωρη διάρκεια

Από την παραπάνω απεικόνιση παρατηρούμε ότι η συνολική διασπορά όλης της διάρκειας του ταξιδιού είναι το άθροισμα των επιμέρους διασπορών ανά ώρα. Για να μπορέσει ο χρήστης να εξάγει μια τέτοια μελέτη που αφορά ενδιάμεσα χρονικά διαστήματα πρέπει να επέμβει στην λειτουργία και σύνταξη του κύριου κώδικα (gaussian_plume_model.m).

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν να ορίσουμε συγκεκριμένα όρια για την χρονική διάρκεια που εκτελείται ο κώδικας στην σειρά 81:

```
>> for i=1:length(wind_dir)
```

Για παράδειγμα για την εκτέλεση του για το 2^ο τρίωρο του ταξιδιού η εντολή τροποποιήθηκε ως εξής:

```
>> for i=4:6
```

Προκειμένου να προσπελαστεί από το κώδικας τον συγκεκριμένο διάστημα μόνο.

Επιπλέον ήταν απαραίτητη και η αλλαγή των αρχικοποιήσεων για τις μεταβλητές που αντιστοιχούν στις μετρήσεις (δηλ. k και j) αντίστοιχα στις σειρές 79 και 80 προκειμένου να υπάρξει η κατάλληλη αντιστοιχία ώρας και μετρήσεων.

Στο δεύτερο σενάριο εξετάζεται η επίδραση του ανέμου στην διασπορά των ρύπων. Για τον λόγο αυτό επιλέξαμε το κρουαζιερόπλοιο EURODAM που βρισκόταν για ένα 24ώρο δεμένο στο λιμάνι του Ηρακλείου και εκτελέσαμε τρία πιθανά σενάρια ανέμου. Το πλοίο εμφανίζεται στην εικόνα 25 και τα χαρακτηριστικά του στον πίνακα 14^[14].



Εικόνα 25. Κρουαζιερόπλοιο EURODAM

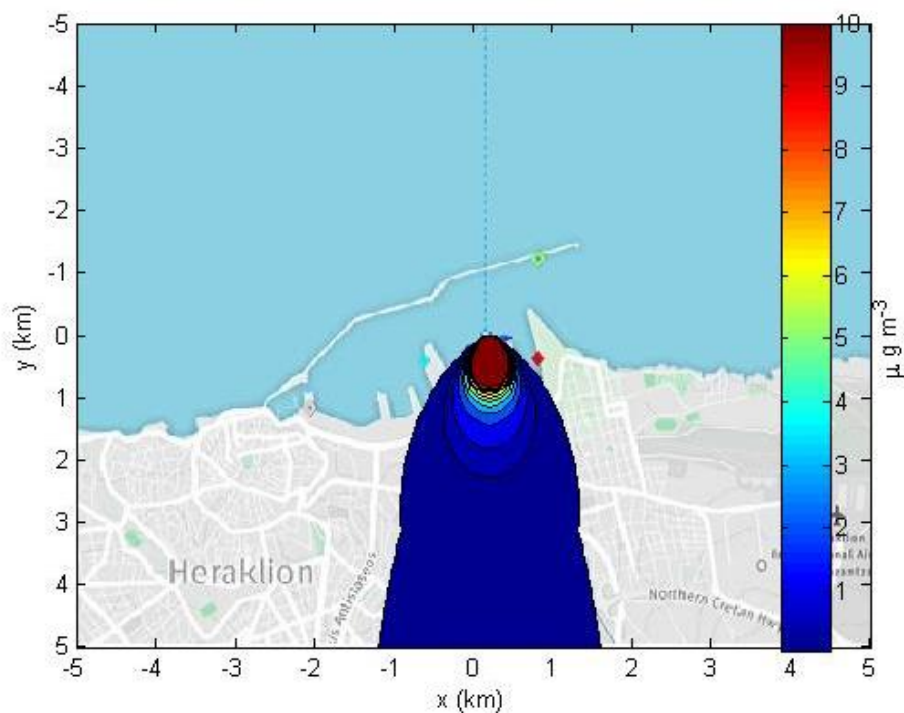
Το σενάριο αυτό απαρτίζεται από 292 μετρήσεις ρύπων και 24 μετρήσεις για μετεωρολογικές συνθήκες. Για την εκτέλεση του θέσαμε τρία διαφορετικά προφίλ ανέμου ως προς την διεύθυνση και την ένταση. Ενώ χρειάστηκε να τροποποιήσουμε στο αρχείο εισόδου το σημείο που θεωρούμε ως κέντρο και στο κύριο κώδικα τις διαστάσεις προκειμένου να ανταποκρίνονται στον νέο χάρτη. Επίσης επειδή στόχος για την εκτέλεση του 2^{ου} σεναρίου είναι η μελέτη της επίδρασης του ανέμου στην διασπορά για μια κατοικημένη περιοχή, τέθηκαν 6 διαφορετικές διαβαθμίσεις για τις συγκεντρώσεις στο αρχείο εξόδου (overlay_on_map.m) προκειμένου να καταστεί δυνατή η καλύτερη απεικόνιση της διασποράς.

Όνομα πλοίου	EURODAM
Έτος κατασκευής	2008
Ισχύς κύριας μηχανής (HP)	64000
Ισχύς εφεδρικής μηχανής (HP)	19170
Ισχύς βοηθητικών (HP)	1378
Σημαία	Ολλανδία
Ολική χωρητικότητα Gt (tonne)	86273
Εκτόπισμα Dwt (tonne)	9125
Τύπος πλοίου	MSD
Αριθμός μηχανών	1
Αριθμός πιστονιών	4

Πίνακας 14. Χαρακτηριστικά πλοίου για το 2ο σενάριο

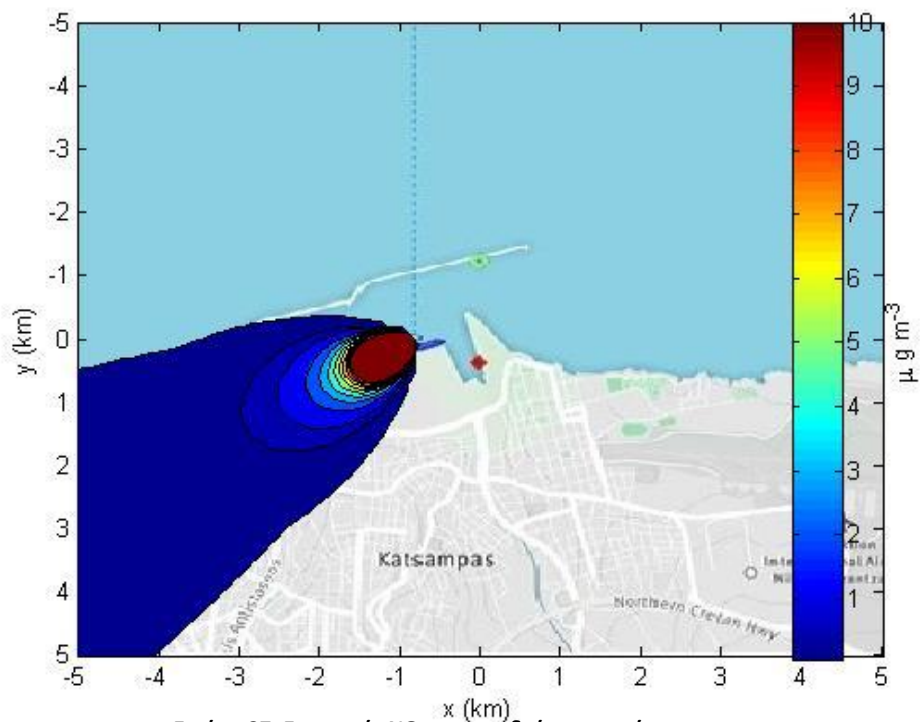
Στις εικόνες 26, 27 και 28 αποτυπώνονται οι εκπομπές NO_x για τις τρεις διαφορετικές περιπτώσεις ανέμου.

1^η περίπτωση για βόρειο άνεμο και ένταση 2m/s



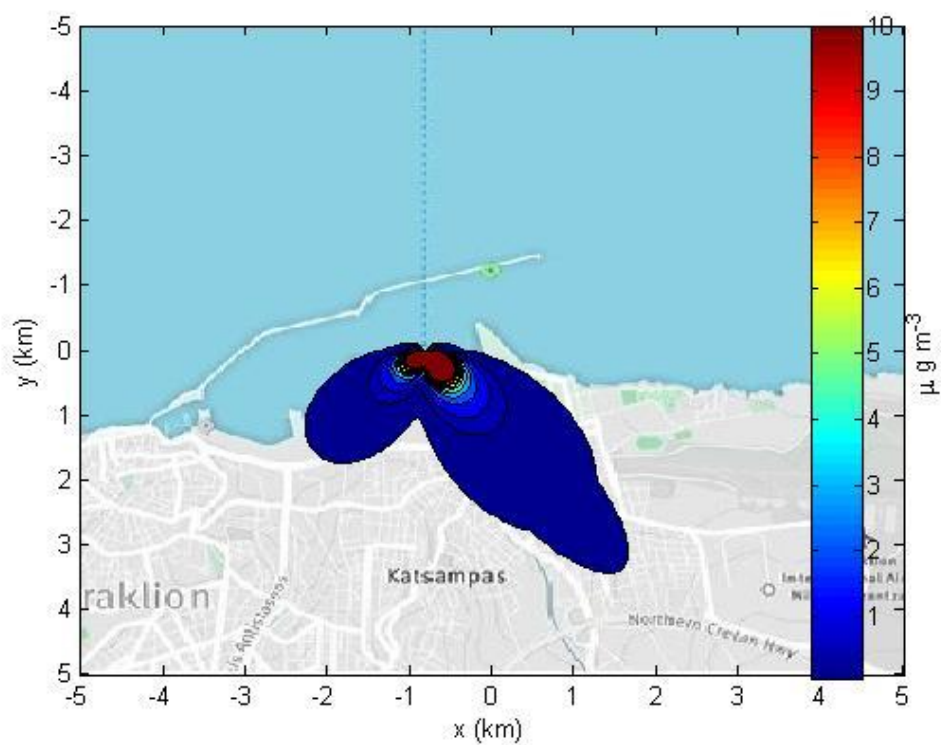
Εικόνα 26. Εκπομπές NO_x για την 1η περίπτωση

2^η περίπτωση για βορειοανατολικό άνεμο και ένταση 1 m/s



Εικόνα 27. Εκπομπές NO_x για την δεύτερη περίπτωση

3^η περίπτωση εναλλαγή ανέμου από βορειοδυτικό σε βορειοανατολικό και αλλαγή στην ένταση από 5m/s σε 3m/s



Εικόνα 28. Εκπομπές NO_x για την δεύτερη περίπτωση

Η διασπορά και στις τρεις περιπτώσεις ακολουθεί την ροή του ανέμου, ακόμα και όταν αλλάζει ένταση και φορά κατά την διάρκεια της ημέρας. Επίσης η ζώνη με την έντονη ρύπανση (κόκκινο περίγραμμα στο σχήμα) επηρεάζεται άμεσα από την ένταση του ανέμου. Χαρακτηριστικό είναι το μέγεθος της στην περίπτωση 2, όπου είναι εμφανώς μεγαλύτερο από τις αντίστοιχες στις άλλες δύο περιπτώσεις.

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν οι εκπομπές NO_x για το λόγο ότι είναι ελαφρύτερες των άλλων δύο τύπων ρύπων του συστήματος και καθιστά δυνατή την καλύτερη απεικόνιση της διασποράς και της επιρροής που δέχεται από τις ριπές ανέμου.

4.2 Επεκτάσεις και Μελλοντική χρήση

Ο σκοπός του συστήματος που πραγματεύεται η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία είναι η δημιουργία ενός μοντέλου που θα μπορέσει να δώσει μια λεπτομερή απεικόνιση της κατάστασης της αέριας ρύπανσης από την θαλάσσια δραστηριότητα της ναυτιλίας. Ο τομέας αυτός αποτελεί ένα πολύ επίκαιρο και ευαίσθητο ζήτημα της παγκόσμιας κοινότητας ,γεγονός που το αποδεικνύει το ότι αποτέλεσε ένα από τα αντικείμενα συζήτησης στη διεθνή σύνοδο για το περιβάλλον στο Παρίσι την άνοιξη του 2016. Οι παράγοντες αυτοί από μόνοι καθιστούν το πεδίο της συγκεκριμένης μελέτης πολύ ευρύ και με μεγάλα περιθώρια περεταίρω μελέτης και ανάλυσης και ήταν οι βασικοί πυλώνες για την δομή του συστήματος. Για το λόγω αυτό το σύστημα μας μπορεί να αξιοποιηθεί αρχικά ως μοντέλο παρακολούθησης της ρύπανσης εφόσον αυτός είναι και ο κύριος στόχος του. Ωστόσο όμως δίνει την δυνατότητα στον ενδιαφερόμενο να προβεί και σε άλλες μελέτες όπως :

1. Παρακολούθηση συγκεκριμένων πλοίων για το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα
2. Έλεγχος για την ρύπανση γύρω από συγκεκριμένες περιοχές κυρίως παραθαλάσσιες
3. Μελέτη των διαφορών στην ρύπανση ανάλογα με τις δραστηριότητες των πλοίων
4. Μελέτη των διαφορών στην διασπορά ανάλογα με τον τύπο της ρύπανσης
5. Μελέτη των διαφορών στην διασπορά ανάλογα με την μετεωρολογικές συνθήκες
6. Χρήση Drone για την επιβεβαίωση των δεδομένων

Οι παραπάνω δυνατότητες μπορούν να αξιοποιηθούν πέρα από μεμονωμένους χρήστες αλλά και από αρμόδιους οργανισμούς και φορείς χωρίς τροποποιήσεις στο σύστημα.

Βέβαια επειδή το σύστημα αποτελεί κώδικα Mat Lab διαθέτει και άλλες δυνατότητες που με τις κατάλληλες επεκτάσεις μπορούν να αξιοποιηθούν αναλόγως τις απαιτήσεις και τις παραμέτρους που θα τεθούν , μερικές από τις οποίες είναι :

1. Μελέτη της αέριας ρύπανσης για τις αερομεταφορές
2. Μελέτη διαφορετικών ρύπων από τους προκαθορισμένους
3. Δημιουργία γραφικού περιβάλλοντος για χρήση από μη εξειδικευμένους χρήστες
4. Μελέτη ρύπων από συστοιχίες σταθερών πηγών η μεμονωμένης πηγής εκπομπής
5. Εμπλουτισμός ή τροποποίηση του κώδικα για μικρότερες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ

Οι παραπάνω δυνατότητες αποτελούν τις επεκτάσεις του συστήματος μας με ορισμένες από αυτές να ανοίγουν νέα αντικείμενα μελέτης και έρευνας, που για να έρθουν εις πέρας απαιτείται η τροποποίηση του κώδικα ώστε να εξυπηρετήσει τις νέες ανάγκες.

4.3 Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα τα οποία εξάγονται από την παραπάνω διπλωματική εργασία χωρίζονται σε δύο σκέλη. Το πρώτο αφορά κάποιες γενικές περιβαλλοντικές αναλύσεις σχετικά με την δραστηριότητα των πλοίων και το δεύτερο αφορά την αξιοποίηση του συστήματος για την κατανόηση του προβλήματος της διασποράς των ρύπων από τον κλάδο της ναυτιλίας.

Το πρώτο και κύριο συμπέρασμα αφορά τις διαφορές που παρουσιάζονται ανάλογα με την δραστηριότητα του πλοίου. Πιο αναλυτικά παρατηρούμε ότι κατά την διάρκεια ελιγμών οι ενεργειακές απαιτήσεις αυξάνονται και έχουμε αύξηση των εκπομπών. Συνεπώς κατά την διάρκεια εισόδου και εξόδου από τα λιμάνια ή κατά την πραγματοποίηση ελιγμών εντός της θαλάσσιας ζώνης έχουμε αύξηση των εκπομπών. Επίσης λόγω των ελιγμών στο λιμάνι αλλά και της διάρκειας παραμονής του σε αυτό η ατμόσφαιρα των γύρω περιοχών επιβαρύνεται με μεγάλες ποσότητες

αέριων ρύπων πολύ τοξικών τόσο για την ανθρώπινη υγεία αλλά όσο και για το ευρύτερο οικοσύστημα.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα που εξάχθηκαν από την επεξεργασία των δεδομένων, συμπεραίνεται ότι η διασπορά των ρύπων δεν είναι ίδια ανά τύπο. Χαρακτηριστικά στο πρώτο σενάριο γίνεται αντιληπτό ότι τα οξείδια του αζώτου καλύπτουν μεγάλη έκταση σε σχέση με τα μικροσωματίδια μέχρι να πέσουν στο έδαφος ή να διαλυθούν. Αυτό οφείλεται στο διαφορετικό βάρος των σωματιδίων που έχει ο κάθε ρύπος αντίστοιχα.

Επίσης η δυνατότητα που έχει το σύστημα που αναπτύχθηκε στην κάλυψη μεγάλων γεωγραφικών αποστάσεων, γεγονός που αποδεικνύεται από την έκταση που καλείται να επεξεργαστεί το πρώτο σενάριο μπορεί να αποδώσει ρεαλιστική εικόνα για το σύνολο των εκπομπών για μεγαλύτερες θαλάσσιες περιοχές, όπως είναι η λεκάνη της Μεσογείου, αλλά και από μεγάλο αριθμό πλοίων. Το μειονέκτημα όμως που παρουσιάζει είναι ότι για υπερβολικό όγκο δεδομένων, δηλαδή την απεικόνιση της διασποράς για μια τέτοια περιοχή ή για πολλές ταυτόχρονες διαδρομές, είναι ότι απαιτείται μεγάλη υπολογιστική ισχύ που δεν μπορεί να καλυφθεί από έναν κοινό οικιακό ηλεκτρονικό υπολογιστή, αλλά μόνο από υπολογιστικές μονάδες τύπου server.

Στο τομέα της απεικόνισης το πλεονέκτημά του συστήματος είναι ότι βασίστηκε στο μοντέλο Gauss που εκφράζει μόνιμες καταστάσεις και έτσι αποδίδει την διασπορά των ρύπων στο τέλος της χρονικής διάρκειας που έχει τεθεί σαν όρισμα αποδίδοντας και απεικονίζοντας με αυτό τον τρόπο την συνολική επιβάρυνση της ατμόσφαιρας. Το συμπέρασμα αυτό γίνεται κυρίως αντιληπτό από την εκτέλεση του 2^{ου} σεναρίου που αφορά το λιμάνι του Ηρακλείου.

Η θεώρηση της πηγής εκπομπής στο 2^ο σενάριο σαν σταθερή, καθιστά το σύστημα ικανό για την επίλυση προβλημάτων διασποράς τόσο για λιμάνια που επιβαρύνονται με εκπομπές από τα πλοία όσο και για πηγές που δεν βρίσκονται στον θαλάσσιο χώρο αλλά σταθερές στο έδαφος όπως για παράδειγμα τα εργοστάσια.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB

- lat_lon.m

```
filename = 'Copy of Nikos Patestos Test Case (24862).xlsx';
lat= xlsread(filename,1,'D:D');
lon= xlsread(filename,1,'C:C');
ManeuveringNOX= xlsread(filename,1,'F:F');
ManeuveringSOX= xlsread(filename,1,'G:G');
ManeuveringPM= xlsread(filename,1,'H:H');
wind_speed = xlsread(filename,1,'I:I');
wind_dir = xlsread(filename,1,'J:J');
[temp,timestamp]=xlsread(filename,1,'A:A');
la=deg2rad(lat);
lo=deg2rad(lon);
R = 6371; % Earth's radius in km
latmid = deg2rad(36.345001); % center point in map
longmid = deg2rad(25.328106); % center point in map

for i=1: numel(lat)
    delta_lon = 0;
    if lat(i)> latmid % difference in latgitude
        delta_lat = la(i)-latmid;
        a = sin(delta_lat/2)^2 + cos(la(1)) * cos(la(i))...
            * sin(delta_lon/2)^2;
        c = 2*atan2(sqrt(a), sqrt(1-a));
        Xi(i)= R*c*100;
    elseif lat(i)==latmid
        delta_lat=0;
        Xi(i)=0;
    else
        delta_lat = la(i)-latmid;
        a = sin(delta_lat/2)^2 + cos(la(1)) * cos(la(i))...
            * sin(delta_lon/2)^2;
        c = 2*atan2(sqrt(a), sqrt(1-a));
        Xi(i)= -R*c*100;
    end

    He(i)=15;

end

for i=1: numel(timestamp)-1 % date and time data
    timedate(i,:,:,:,:,:) = datevec(timestamp(i+1,1));
end

for i=1: numel(lat)
    delta_lat=0;
    if lo(i)> longmid % difference in longitude
        delta_lon = lo(i)-longmid;
        a = sin(delta_lat/2)^2 + cos(la(1)) * cos(la(i))...
            * sin(delta_lon/2)^2;
        c = 2*atan2(sqrt(a), sqrt(1-a));
        Yi(i)=R*c*100;
```

```

elseif lo(i)==longmid
    delta_lon=0;
    Yi(i)= 0;
else
    delta_lon = -(lo(i)-longmid);
    a = sin(delta_lat/2)^2 + cos(la(1)) * cos(la(i)) ...
        * sin(delta_lon/2)^2;
    c = 2*atan2(sqrt(a), sqrt(1-a));
    Yi(i)= -R*c*100;
end

nox(i)= ManeuveringNOX(i);
sox(i)= ManeuveringSOX(i);
pm(i) = ManeuveringPM(i);
end
source.n = length(Xi);
source.x = Xi;
source.y = Yi;
source.z = He;

```

- gaussian plume model sample.m

```

PLAN_VIEW=1;

% atmosfairikh sta8erothta
CONSTANT_STABILITY=1;
ANNUAL_CYCLE=2;
stability_str={'Very unstable','Moderately unstable','Slightly
unstable',...
'Neutral','Moderately stable','Very stable'};

% parametroi
HUMIDIFY=2;
NOX=1;
SOX=2;
PM=3;
nu=[2 2.5 1];
rho_s=[2160 1840 7140];
Ms=[40.03e-3 64.066e-3 250e-3];
Mw=28.97e-3;
dry_size=60e-9;

x_slice=10;
y_slice=10;

dxy=100;           % analush ws pros ton x kai y axona
dz=10;
x=-30000:dxy:30000; % lush gia 300 km epifaneia
y=x;               % x plegma iso me y plegma
output=PLAN_VIEW;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

lat_lon; % eisagwgh dedomenwn

% metavlhtes pou mporoun na allaxuoun apo ton xrhsth
+++++
RH=0.90;           % humidity
stab1=1; % set from 1-6
stability_used=CONSTANT_STABILITY;

    days=length(wind_dir)/24;           % diärkeia tou montelou se meres
%-----
    times=[1:days.*24]./24;

Dy=10;
Dz=10;

% upologismos atmosfairikhs sta8erothtas
switch stability_used
    case CONSTANT_STABILITY
        stability=stab1.*ones(days.*24,1);
        stability_str=stability_str{stab1};
    case ANNUAL_CYCLE

```

```

        stability=round(2.5.*cos(times.*2.*pi/(365))+3.5);
        stability_str='Annual cycle';
    otherwise
        return
end

C1=zeros(length(x),length(y),days.*24); % arxikopoihsh pinaka

[x,y]=meshgrid(x,y); % orismos tw'n x kai y se olo to plegma
z=zeros(size(x)); % orismos z idio me to epipedo 0.

%-----
prompt= 'dwse thn timh 1-3 gia ton rupo pou 8a emfanisei ';
rp=input(prompt);
if rp==1
    rypos=nox;
elseif rp==2
    rypos=sox;
elseif rp==3
    rypos=pm;
end

% kuria epanalhpsh
h = waitbar(0,'Please wait...');
warning off
k=1;
j=1;
for i=1:length(wind_dir)

    while (j< numel(rypos) || (j==numel(rypos))) && (timedate(k,3) ==
timedate(j,3)) && (timedate(k,4) == timedate(j,4))
        C=gauss_func(rypos(j),wind_speed(i),wind_dir(i),x,y,z,...
            Yi(j),Xi(j),He(j),Dy,Dz,stability(i));
        C1(:, :, 1)=C1(:, :, 1)+C;
        j=j+1;
    end
    k=j;
    waitbar(i/length(wind_dir),h);
end
warning on;
close(h);

% epidrash ths ugrasias sthn diaspora

mass=pi./6.*rho_s(rp).*dry_size.^3;
moles=mass./Ms(rp);

nw=RH.*nu(rp)*moles./(1-RH);
mass2=nw.*Mw+moles.*Ms(rp);
C1=C1.*mass2./mass;

% parametroi gia thn emfanish tou grafhmatos
wind_dir_str='Constant wind';
stability_str='Neutral';

% grafhma

```



```

figure;
clist = [0.01 ,10];
[c,h]=contourf(x,-y,(mean(C1,3)).*1e6,clist);

    title({stability_str,wind_dir_str});
    xlabel('x (metres)');
    ylabel('y (metres)');
    h=colorbar;
    ylabel(h,'\mu g m^{-3}');

```

- **gauss_func.m**

```
function C=gauss_func(Q,u,dir1,x,y,z,xs,ys,H,Dy,Dz,STABILITY)
u1=u;
x1=x-xs; % allagh suntetagmenwn gia ton orismo tou kentrou
y1=y-ys;

% ta stoixeia tou u ekfrasmena ws dianusmata sto x kai y axona
wx=u1.*sin((dir1-180).*pi./180);
wy=u1.*cos((dir1-180).*pi./180);

% o gwnia metaxy x kai y me thn dieu8hnsh tou anemou
dot_product=wx.*x1+wy.*y1;

magnitudes=u1.*sqrt(x1.^2+y1.^2);

% gwnia metaxy tou anemou kai tou shmeiou(x,y)
subtended=acos(dot_product./magnitudes);
% h apostash apo thn phgh
hypotenuse=sqrt(x1.^2+y1.^2);

% upologismos apostashs kata mhkos tou anemou
downwind=cos(subtended).*hypotenuse;

% upologismos apostashs pleurikwn anemwn
crosswind=sin(subtended).*hypotenuse;

ind=find(downwind>0);
C=zeros(size(downwind));

% ypologismos tw'n sigmas me vash tis parapanw metavlhtes
[sig_y,sig_z]=calc_sigmas(STABILITY,downwind);

C(ind)=Q./(2.*pi.*u1.*sig_y(ind).*sig_z(ind)) ...
.*exp(-crosswind(ind).^2./(2.*sig_y(ind).^2)).* ...
(exp(-(z(ind)-H).^2./(2.*sig_z(ind).^2))+ ...
exp(-(z(ind)+H).^2./(2.*sig_z(ind).^2)) );
```

- **calc_sigmas.m**

```
function [sig_y,sig_z]=calc_sigmas(CATEGORY,x)

a=zeros(size(x));
b=zeros(size(x));
c=zeros(size(x));
d=zeros(size(x));

switch CATEGORY
    case 1 % very unstable
        % vertical
        ind=find(x<100 &x>0);
        a(ind)=122.800;b(ind)=0.94470;

        ind=find(x>=100 & x<150);
        a(ind)=158.080;b(ind)=1.05420;

        ind=find(x>=150 & x<200);
        a(ind)=170.220;b(ind)=1.09320;

        ind=find(x>=200 & x<250);
        a(ind)=179.520;b(ind)=1.12620;

        ind=find(x>=250 & x<300);
        a(ind)=217.410;b(ind)=1.26440;

        ind=find(x>=300 & x<400);
        a(ind)=258.89;b(ind)=1.40940;

        ind=find(x>=400 & x<500);
        a(ind)=346.75;b(ind)=1.7283;

        ind=find(x>=500 & x<3110);
        a(ind)=453.85;b(ind)=2.1166;

        ind=find(x>=3110);
        a(ind)=453.85;b(ind)=2.1166;

        % cross wind
        c(:)=24.1670;
        d(:)=2.5334;
    case 2 % moderately unstable
        % vertical
        ind=find(x<200 &x>0);
        a(ind)=90.673;b(ind)=0.93198;

        ind=find(x>=200 & x<400);
        a(ind)=98.483;b(ind)=0.98332;

        ind=find(x>=400);
        a(ind)=109.3;b(ind)=1.09710;

        % cross wind
        c(:)=18.3330;
```

```

        d(:)=1.8096;
case 3 % slightly unstable
    % vertical
    a(:)=61.141;
    b(:)=0.91465;
    % cross wind
    c(:)=12.5;
    d(:)=1.0857;
case 4 % neutral
    % vertical
    ind=find(x<300 &x>0);
    a(ind)=34.459;b(ind)=0.86974;

    ind=find(x>=300 & x<1000);
    a(ind)=32.093;b(ind)=0.81066;

    ind=find(x>=1000 & x<3000);
    a(ind)=32.093;b(ind)=0.64403;

    ind=find(x>=3000 & x<10000);
    a(ind)=33.504;b(ind)=0.60486;

    ind=find(x>=10000 & x<30000);
    a(ind)=36.650;b(ind)=0.56589;

    ind=find(x>=30000);
    a(ind)=44.053;b(ind)=0.51179;

    % cross wind
    c(:)=8.3330;
    d(:)=0.72382;
case 5 % moderately stable
    % vertical
    ind=find(x<100 &x>0);
    a(ind)=24.26;b(ind)=0.83660;

    ind=find(x>=100 & x<300);
    a(ind)=23.331;b(ind)=0.81956;

    ind=find(x>=300 & x<1000);
    a(ind)=21.628;b(ind)=0.75660;
    ind=find(x>=1000 & x<2000);
    a(ind)=21.628;b(ind)=0.63077;

    ind=find(x>=2000 & x<4000);
    a(ind)=22.534;b(ind)=0.57154;

    ind=find(x>=4000 & x<10000);
    a(ind)=24.703;b(ind)=0.50527;

    ind=find(x>=10000 & x<20000);
    a(ind)=26.970;b(ind)=0.46713;

    ind=find(x>=20000 & x<40000);
    a(ind)=35.420;b(ind)=0.37615;

    ind=find(x>=40000);
    a(ind)=47.618;b(ind)=0.29592;

```

```

    % cross wind
    c(:)=6.25;
    d(:)=0.54287;
case 6 % very stable
    % vertical
    ind=find(x<200 & x>0);
    a(ind)=15.209;b(ind)=0.81558;

    ind=find(x>=200 & x<700);
    a(ind)=14.457;b(ind)=0.78407;

    ind=find(x>=700 & x<1000);
    a(ind)=13.953;b(ind)=0.68465;

    ind=find(x>=1000 & x<2000);
    a(ind)=13.953;b(ind)=0.63227;

    ind=find(x>=2000 & x<3000);
    a(ind)=14.823;b(ind)=0.54503;

    ind=find(x>=3000 & x<7000);
    a(ind)=16.187;b(ind)=0.46490;

    ind=find(x>=7000 & x<15000);
    a(ind)=17.836;b(ind)=0.41507;

    ind=find(x>=15000 & x<30000);
    a(ind)=22.651;b(ind)=0.32681;

    ind=find(x>=30000 & x<60000);
    a(ind)=27.074;b(ind)=0.27436;

    ind=find(x>=60000);
    a(ind)=34.219;b(ind)=0.21716;

    % cross wind
    c(:)=4.1667;
    d(:)=0.36191;
otherwise
    return;
end

sig_z=a.*(x./1000).^b;
sig_z(find(sig_z(:)>5000))=5000;

theta=0.017453293.*(c-d.*log(x./1000));
sig_y=465.11628.*x./1000.*tan(theta);











```

- **overlay on map.m**

```
% emfanish sugkentrwsewn sto xarth
im = imread('map.jpg');
figure
imagesc([-300 300],[-300 300],im)
xlabel('x (km)');ylabel('y (km)');
h1=axes('position',get(gca,'position'));
clist = [0.01 , 10 ];
[c,h]=contour(x,-y,(mean(C1,3)).*1e6,clist);
set(gca,'visible','off')
set(h,'linewidth',0.5);
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Χρόνοι εκτέλεσης του κώδικα MATLAB

Profiler				
File Edit Debug Window Help				
Start Profiling Run this code:				
Function Name	Calls	Total Time	Self Time*	Total Time Plot (dark band = self time)
gaussian_plume_model_sample	1	88.738 s	30.665 s	
gauss_func	292	39.257 s	19.316 s	
calc_sigmas	292	19.941 s	19.941 s	
lat_lon	1	18.420 s	0.014 s	
xlsread	8	18.170 s	1.907 s	
iofun\private\xlsreadCOM	8	14.881 s	4.457 s	
iofun\private\xlsreadSplitNumericAndText	8	9.443 s	8.744 s	
actxserver	8	1.195 s	1.194 s	
iofun\private\openExcelWorkbook	8	0.955 s	0.918 s	
...litNumericAndText>filterDataUsingMask	15	0.699 s	0.567 s	
datevec	292	0.236 s	0.104 s	
onCleanup>onCleanup_delete	27	0.178 s	0.002 s	
xlsread>@(xlsCleanup(Excel.file)	8	0.175 s	0.002 s	
iofun\private\xlsCleanup	8	0.174 s	0.172 s	
...ph.contourgroup.schema>LdoDirtyAction	3	0.167 s	0.000 s	
specgraph.contourgroup.refresh	2	0.166 s	0.075 s	
colorbar	1	0.141 s	0.001 s	
colorbar>make_colorbar	1	0.140 s	0.000 s	
scribe_colorbar.colorbar	1	0.139 s	0.003 s	
...\xlsreadSplitNumericAndText>getCorner	30	0.133 s	0.133 s	
waitbar	25	0.123 s	0.051 s	

Profiler				
File Edit Debug Window Help				
Start Profiling Run this code:				
scribe_colorbar.init	1	0.099 s	0.002 s	
contourf	1	0.091 s	0.002 s	
scribe_colorbar.methods	10	0.058 s	0.002 s	
legendcolorbarlayout	3	0.057 s	0.001 s	
contours	1	0.055 s	0.052 s	
timefun\private\getmonthnamesmx (MEX-file)	584	0.051 s	0.051 s	
waitbar>createWaitbar	1	0.048 s	0.044 s	
legendcolorbarlayout>makeSpace	1	0.043 s	0.006 s	
str2double	1460	0.038 s	0.038 s	
legendcolorbarlayout>doLayout	4	0.038 s	0.005 s	
newplot	1	0.037 s	0.002 s	
legendcolorbarlayout>doLayoutCB	12	0.036 s	0.003 s	
newplot>ObserveAxesNextPlot	1	0.035 s	0.000 s	
cla	1	0.035 s	0.000 s	
graphics\private\clo	1	0.035 s	0.003 s	
registerevent	8	0.031 s	0.004 s	
setdiff	2	0.030 s	0.008 s	
contourf>parseargs	1	0.028 s	0.020 s	
iofun\private\xlsreadCOM>activate_sheet	8	0.026 s	0.026 s	
datevec>getformat	292	0.026 s	0.026 s	
scribe_colorbar.methods>set_contextmenu	1	0.024 s	0.004 s	
scribe_colorbar.methods>setConfiguration	2	0.022 s	0.002 s	

Profiler

File Edit Debug Window Help

Start Profiling Run this code:

setdiff>setdifflegacy	2	0.022 s	0.013 s	
scribe.colorbar.methods>doUpdateImage	2	0.018 s	0.001 s	
uitools\private\uiwaitbar	25	0.018 s	0.018 s	
registerevent>addevent	8	0.018 s	0.018 s	
axis	1	0.017 s	0.008 s	
graph2dhelper	6	0.017 s	0.000 s	
waitbar>updateWaitbar	24	0.017 s	0.001 s	
ismember	2	0.014 s	0.005 s	
...raph.contourgroup.refresh>LdrawFilled	1	0.013 s	0.013 s	
legendcolorbarlayout>getPixelBounds	4	0.013 s	0.003 s	
...e.colorbar.methods>update_contextmenu	1	0.013 s	0.002 s	
legendcolorbarlayout>doInOutLayout	4	0.012 s	0.006 s	
timefun\private\getampmtokensmx (MEX-file)	292	0.012 s	0.012 s	
scribe\private\updateLegendMenuToolbar	1	0.012 s	0.003 s	
mean	1	0.011 s	0.011 s	
close	1	0.011 s	0.002 s	
findall	10	0.010 s	0.007 s	
hggetbehavior	5	0.010 s	0.001 s	
axis>LocSetTight	1	0.009 s	0.000 s	
specgraph.contourgroup.setLegendInfo	3	0.009 s	0.002 s	
axis>LocSetTight1	1	0.009 s	0.002 s	
xyzchk	2	0.009 s	0.009 s	

Profiler

File Edit Debug Window Help

Start Profiling Run this code:

winfun\private\checkeventname	8	0.009 s	0.009 s	
hggetbehavior>localGet	5	0.009 s	0.001 s	
close>request_close	1	0.009 s	0.001 s	
fileparts	24	0.008 s	0.007 s	
...ethods>initialize_colorbar_properties	1	0.007 s	0.003 s	
hgbehaviorfactory	5	0.007 s	0.000 s	
iofun\private\validpath	8	0.007 s	0.001 s	
hgbehaviorfactory>localCreate	5	0.007 s	0.002 s	
close>request_close_helper	2	0.006 s	0.001 s	
objbounds	1	0.006 s	0.004 s	
legendinfo	1	0.006 s	0.001 s	
ismember>ismemberlegacy	1	0.006 s	0.006 s	
unique	2	0.006 s	0.002 s	
allchild	8	0.005 s	0.004 s	
title	2	0.005 s	0.003 s	
meshgrid	1	0.005 s	0.005 s	
isprop	36	0.005 s	0.005 s	
uigettool	2	0.005 s	0.003 s	
hsv	1	0.005 s	0.001 s	
hgbehaviorfactory>localGetBehaviorInfo	5	0.005 s	0.005 s	
specgraph.contourgroup.contourgroup	1	0.005 s	0.002 s	
scribe\private\createScribeUIMenuEntry	2	0.005 s	0.000 s	

Profiler

File Edit Debug Window Help

Start Profiling Run this code:

ylabel	3	0.005 s	0.004 s	
...IMenuEntry>localCreateCustomEnumEntry	1	0.004 s	0.001 s	
legendcolorbarlayout>validateTextObjects	4	0.004 s	0.002 s	
hsv2rgb	1	0.004 s	0.004 s	
...ndcolorbarlayout>localGetXLabelHeight	6	0.004 s	0.003 s	
legendcolorbarlayout>createListeners	1	0.004 s	0.003 s	
iscellstr	316	0.004 s	0.004 s	
legendcolorbarlayout>localGetTitleHeight	6	0.004 s	0.003 s	
axescheck	8	0.004 s	0.004 s	
xlabel	2	0.004 s	0.003 s	
colormap	2	0.004 s	0.004 s	
legend	1	0.004 s	0.004 s	
ismember>ismemberR2012a	1	0.004 s	0.004 s	
unique>uniqueR2012a	2	0.004 s	0.004 s	
num2str	6	0.003 s	0.002 s	
uitools\private\warnfiguredialog	25	0.003 s	0.001 s	
view	1	0.003 s	0.001 s	
...tourgroupp.refresh>computeOrientations	2	0.003 s	0.001 s	
...penExcelWorkbook>waitForValidWorkbook	8	0.003 s	0.003 s	
legendcolorbarlayout>localGetYLabelWidth	4	0.003 s	0.002 s	
winfun\private\comeventcallback	8	0.003 s	0.002 s	
waitbar>extractHandles	24	0.003 s	0.003 s	

Profiler

File Edit Debug Window Help

Start Profiling Run this code:

grid	1	0.002 s	0.002 s	
opaque_double	87	0.002 s	0.002 s	
specgraph\private\xyzcheck	1	0.002 s	0.002 s	
iofun\private\validpath>getFullName	8	0.002 s	0.002 s	
jet	1	0.002 s	0.002 s	
caxis	1	0.002 s	0.002 s	
contours>rotatecorner	1201	0.002 s	0.002 s	
usejava	25	0.002 s	0.002 s	
scribe.colorbar.methods>startlisteners	1	0.002 s	0.002 s	
onCleanup>onCleanup.onCleanup	27	0.002 s	0.002 s	
cross	2	0.002 s	0.002 s	
is2D	20	0.002 s	0.002 s	
...e.colorbar.methods>auto_adjust_colors	1	0.002 s	0.002 s	
objbounds>localGetImageBounds	1	0.002 s	0.000 s	
legendcolorbarlayout>topixels	4	0.002 s	0.002 s	
repmat	6	0.002 s	0.002 s	
objbounds>localComputeImageEdges	2	0.001 s	0.001 s	
view>ViewCore	1	0.001 s	0.001 s	
getpixelposition	4	0.001 s	0.001 s	
legendcolorbarlayout>localValidateLists	4	0.001 s	0.001 s	
legendcolorbarlayout>getListeners	6	0.001 s	0.001 s	
...urgroupp.setLegendInfo>makeEllipseData	2	0.001 s	0.000 s	

Profiler				
File Edit Debug Window Help				
Start Profiling Run this code:				
closereg	1	0.001 s	0.001 s	
...all>showHiddenHandlesToFindAllHandles	10	0.001 s	0.001 s	
legendinfo>parsestruct	2	0.001 s	0.001 s	
scribe.colorbar.init>changedLimits	6	0.001 s	0.001 s	
legendcolorbarlayout>layoutColorbar	4	0.001 s	0.001 s	
winfun\private\newprogid	8	0.001 s	0.001 s	
int2str	6	0.001 s	0.001 s	
linspace	2	0.001 s	0.001 s	
hot	1	0.001 s	0.001 s	
ispc	48	0.001 s	0.001 s	
...ontourgroup.schema>LdoMarkDirtyAction	9	0.001 s	0.001 s	
legendcolorbarlayout>initInsetAppdata	1	0.001 s	0.000 s	
hggetbehavior>localPeek	5	0.001 s	0.000 s	
...olorbar.methods>get_current_data_axes	1	0.001 s	0.000 s	
iscom	8	0.001 s	0.001 s	
...e(['MATLAB:uistring:scribemenu:.x]])	11	0.001 s	0.001 s	
colorbar>find_colorbar	1	0.001 s	0.000 s	
parseparams	1	0.001 s	0.001 s	
xlsread>create@(0)xlsCleanup(Excel,file)	8	0.001 s	0.001 s	
scribe.colorbar.init>changedPos	8	0.001 s	0.001 s	
xlsreadSupportedExtensions	8	0.001 s	0.001 s	
plotdoneevent	1	0.001 s	0.000 s	

Profiler				
File Edit Debug Window Help				
Start Profiling Run this code:				
legendcolorbarlayout>toPoints	8	0.001 s	0.001 s	
datachildren	1	0.001 s	0.001 s	
...tourgroup.schema>LdoUpdateColorAction	4	0.001 s	0.000 s	
uitools\private\allchildRootHelper	8	0.000 s	0.000 s	
fliplr	7	0.000 s	0.000 s	
...set(rootobj,'ShowHiddenHandles',Temp)	10	0.000 s	0.000 s	
legendcolorbarlayout>offsetsInUnits	1	0.000 s	0.000 s	
...ntourgroup.schema>LdoModeSwitchAction	9	0.000 s	0.000 s	
...set(rootobj,'ShowHiddenHandles',Temp)	10	0.000 s	0.000 s	
view>isAxesHandle	1	0.000 s	0.000 s	
...dcolorbarlayout>preferredColorbarSize	4	0.000 s	0.000 s	
hgfeval	1	0.000 s	0.000 s	
cool	1	0.000 s	0.000 s	
...set(rootobj,'ShowHiddenHandles',Temp)	8	0.000 s	0.000 s	
usev6plotapi	1	0.000 s	0.000 s	
specgraph_contourgroup.refresh>angle	4	0.000 s	0.000 s	
scribe\private\getplotmanager	1	0.000 s	0.000 s	
...set(rootobj,'ShowHiddenHandles',Temp)	8	0.000 s	0.000 s	
ishold	1	0.000 s	0.000 s	
...urgroup.schema>LdoSetManualModeAction	3	0.000 s	0.000 s	
scribe.colorbar.schema>localSetLocation	2	0.000 s	0.000 s	
gray	1	0.000 s	0.000 s	

Profiler				
File Edit Debug Window Help				
Start Profiling Run this code:				
deg2rad	4	0.000 s	0.000 s	
...be.colorbar.init>changedYAxisLocation	1	0.000 s	0.000 s	
scribe.colorbar.init>changedOrientationI	1	0.000 s	0.000 s	
scribe.colorbar.setprivateprop	3	0.000 s	0.000 s	
scribe.colorbar.methods>getfunhan	2	0.000 s	0.000 s	
specgraph\private\datachk	3	0.000 s	0.000 s	
...e.colorbar.schema>localGetOrientation	4	0.000 s	0.000 s	
colormap>getColorMapContainer	1	0.000 s	0.000 s	
close>handleFromNumber	1	0.000 s	0.000 s	
...ExcelWorkbook>WorkbookActivateHandler	8	0.000 s	0.000 s	
close>checkfigs	2	0.000 s	0.000 s	
legendcolorbarlayout>requestSpace	1	0.000 s	0.000 s	
colorbar>iscolorbar	1	0.000 s	0.000 s	
flipud	1	0.000 s	0.000 s	
colorbar>ishg2peer	1	0.000 s	0.000 s	
ipermute	2	0.000 s	0.000 s	
legend>find_legend	1	0.000 s	0.000 s	
specgraph.contourgroup.setContourMatrix	9	0.000 s	0.000 s	
...ibe.UIMenuEntry>localCreateActionEntry	1	0.000 s	0.000 s	
gcbf	2	0.000 s	0.000 s	
objbounds>allAxes	1	0.000 s	0.000 s	
scribe.legendinfo.legendinfo	1	0.000 s	0.000 s	
scribe.legendinfochild.legendinfochild	3	0.000 s	0.000 s	

Profiler				
File Edit Debug Window Help				
Start Profiling Run this code:				
scribe.legendinfochild.legendinfochild	3	0.000 s	0.000 s	
legendcolorbarlayout>localChangePosition	1	0.000 s	0.000 s	
xyzchk>isvector	8	0.000 s	0.000 s	
axis>allAxes	1	0.000 s	0.000 s	
...@(x)(['scribe:colorbar:colormap:'x])	5	0.000 s	0.000 s	
scribe.colorbar.getprivateprop	4	0.000 s	0.000 s	
...loteditbehavior.schema>doEnableAction	1	0.000 s	0.000 s	
close>getEmptyHandleList	2	0.000 s	0.000 s	
legendinfo>check_xydata	3	0.000 s	0.000 s	
graphics\private\clo>find_kids	1	0.000 s	0.000 s	
waitbar>@(0)set(0,'Units',oldRootUnits)	1	0.000 s	0.000 s	
scribe.colorbar.init>changedVisibility	1	0.000 s	0.000 s	
legendcolorbarlayout>initProperties	1	0.000 s	0.000 s	
newplot>ObserveFigureNextPlot	1	0.000 s	0.000 s	
...ndcolorbarlayout>location_to_xy_index	2	0.000 s	0.000 s	
...a>@(h_valProposed)handle(valProposed)	1	0.000 s	0.000 s	
...>create@(0)set(0,'Units',oldRootUnits)	1	0.000 s	0.000 s	
...ddenHandles'.oldUDDShowHiddenHandles)	1	0.000 s	0.000 s	
...ddenHandles'.oldUDDShowHiddenHandles)	1	0.000 s	0.000 s	
graphics.datacursorbehavior.dosupport	1	0.000 s	0.000 s	
...layout>create@(obj,evd)(doLayout(ax))	1	0.000 s	0.000 s	
graphics.panbehavior.dosupport	1	0.000 s	0.000 s	
...@(x)(['scribe:colorbar:colormap:'x])	1	0.000 s	0.000 s	

Profiler				
File Edit Debug Window Help				
<div> <div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> </div> </div>				
Start Profiling Run this code:				
...loteditbehavior.schema>doEnableAction	1	0.000 s	0.000 s	
close>getEmptyHandleList	2	0.000 s	0.000 s	
legendinfo>check_xydata	3	0.000 s	0.000 s	
graphics\private\clo>find_kids	1	0.000 s	0.000 s	
waitbar>@()set(0,'Units','oldRootUnits')	1	0.000 s	0.000 s	
scribe.colorbar.init>changedVisibility	1	0.000 s	0.000 s	
legendcolorbarlayout>initProperties	1	0.000 s	0.000 s	
newplot>ObserveFigureNextPlot	1	0.000 s	0.000 s	
...ndcolorbarlayout>location_to_xy_index	2	0.000 s	0.000 s	
...a>@(h,valProposed)handle(valProposed)	1	0.000 s	0.000 s	
...>create@()set(0,'Units','oldRootUnits')	1	0.000 s	0.000 s	
...ddenHandles'.oldUDDShowHiddenHandles)	1	0.000 s	0.000 s	
...ddenHandles'.oldUDDShowHiddenHandles)	1	0.000 s	0.000 s	
graphics.datacursorbehavior.dosupport	1	0.000 s	0.000 s	
...layout>create@(obj,evd)(doLayout(ax))	1	0.000 s	0.000 s	
graphics.panbehavior.dosupport	1	0.000 s	0.000 s	
...@(x)(['scribe.colorbar.colormap','x'])	1	0.000 s	0.000 s	
...rgroup.schema>LdoUpdateChildrenAction	1	0.000 s	0.000 s	
graphics.zoombehavior.dosupport	1	0.000 s	0.000 s	
graphics.rotate3dbehavior.dosupport	1	0.000 s	0.000 s	
graphics.ploteditbehavior.dosupport	1	0.000 s	0.000 s	

Self time is the time spent in a function excluding the time spent in its child functions. Self time also includes overhead resulting from the process of profiling.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Alexandra Maragkogianni, Spiros Papaefthimiou and Constantin Zopounidis, 2016 “Mitigating Shipping Emissions in European Ports Social and Environmental Benefits”, pp. 1-3
- [2]. Mark Goldstein, “Journal of Emergency Nursing “ Vol. 34 issue 6 Carbon Monoxide Poisoning , table1, [Online]. Available:(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0099176707006848>)
- [3]. A Response to Climate Change, “Carbon Emissions from Aircraft and Ships” [Online]. Available:(http://petrolog.typepad.com/climate_change/2009/09/carbon-emissions-from-aircraft-and-ships.html)
- [4]. WHO | World Health Organization , “Ambient (outdoor) air quality and health” , [Online]. Available : (<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>)
- [5]. Δημήτρης Χουντάλας και Ερμίδου Μαρία Αλέξια , 2011, “Τεχνικές Περιστολής Εκπομπών Αέριων Ρύπων Ναυτικών Κινητήρων και Οικονομική Αξιολόγηση Αυτών” , pp. 29-41
- [6]. Hussgroup cdc emission technologies “Diesel particulates are invisible but dangerous” [Online]. Available: (http://www.hussgroup.com/cdc/_en/infocenter/PM.php)
- [7]. IMO| International Maritime Organization, Our Work Marine Environment , Pollution Prevention, “Air Pollution and GHG Emissions”, Greenhouse Gas Studies 2014, [Online]. Available : (<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Greenhouse-Gas-Studies-2014.aspx>)
- [8]. www.dieselNet.com, Standards, Emission Standards, International: IMO Marine Engine Regulations, [Online]. Available : (<https://www.dieselnets.com/standards/inter/imo.php>)
- [9]. Green4sea.com, “Emission Controlled Areas(ECAs)” [Online].Available : (<http://www.green4sea.com/strengthen-control-of-ships-sulphur-emissions/>)
- [10]. European Commission , “ Reducing emissions from the shipping sector” [Online] Available: (http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/shipping/index_en.htm)
- [11]. Ν.Ανδρίτσος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, εκπαιδευτικό υλικό, “ Διασπορά Ρύπων “, pp.4-26 [Online]. Available: (http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/dispersion.pdf)
- [12]. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας “ Καταγραφή και Μελέτη αιρούμενων σωματιδίων για το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης”, pp. 17 [Online]. Available : (http://www.tkmactions.tee.gr/sections/6_Omades_Ergasias/5_Periballontos/26.pdf)
- [13]. Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Ερευνών , “Μελέτης Περιβαλλοντικών και Κοινωνικών Επιπτώσεων του Ελληνικού τμήματος του Διαδριατικού αγωγού “ vol 8.1, pp. 34 [Online]. Available : (http://www.tap-ag.com/assets/07.reference_documents/greek/esias/greece/ESIA Greece Annex 8.1 Air Dispersion Modeling Greek.pdf)

- [14]. MarineTraffic.com, [Accessed] [30-August-2016]
- [15]. Manchester University, Paul Connolly, "gaussian plume modeling" gp_notes, [Online]. Available: (http://personalpages.manchester.ac.uk/staff/paul.connolly/teaching/practicals/material/gaussian_plume_modelling/gp_notes.pdf)
- [16]. Manchester University, Paul Connolly, "gaussian plume modeling", Files, [Online] Available: (http://personalpages.manchester.ac.uk/staff/paul.connolly/teaching/practicals/gaussian_plume_modelling.html)
- [17]. www.dolphin-hellas.gr, Cruise ships,[Online].Available : (<http://www.dolphin-hellas.gr/cruises-greece/louis-cruises/lc-ships/louis-aura-cruise-ship>)