



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΞΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Μοντελοποίηση της εξάπλωσης των καυσίμων του ναυαγίου του
Sea Diamond με τη χρήση των λογισμικών GNOME και ADIOS»



Αλέξανδρος Δερμιτζάκης

Εξεταστική επιτροπή

Ευάγγελος Γιδαράκος, Καθηγητής (Επιβλέπων)

Νικόλαος Ξεκουκουλωτάκης, Επίκουρος Καθηγητής

Μαρία Αϊβαλιώτη, Διδάκτωρ

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου κ. Ευάγγελο Γιδαράκο για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου με την ανάθεση της εργασίας αυτής, αλλά και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτωρ κ. Ιωάννη Μουκαζή, για την άριστη συνεργασία που είχαμε, καθώς επίσης και για την βοήθεια και τις πολύτιμες συμβουλές του, μέχρι και την τελευταία στιγμή.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος για την πολύτιμη βοήθειά τους καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να παραλείψω την οικογένειά μου, για την συμπαράσταση και τη στήριξη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά τη συμπεριφορά και την κίνηση της εκτιμώμενης ποσότητας των πετρελαιοειδών, που παραμένει στο Sea Diamond, εάν αυτή διαρρεύσει από το κουφάρι του κρουαζιερόπλοιου στο θαλάσσιο περιβάλλον της Καλντέρας.

Πιο συγκεκριμένα, διερευνάται η απελευθέρωση των πετρελαιοειδών εξαιτίας ρωγμής που βρίσκεται στο σκελετό λόγω της διάβρωσης του κουφαριού και του τεράστιου βάρους του μέρους εκείνου που επικρέμεται.

Ο κύριος άξονας της εργασίας αφορά τις πιθανές κατευθύνσεις ανέμου και ρευμάτων στην περιοχή του ναυαγίου. Για το σκοπό αυτό εξετάζονται τρία σενάρια κάθε ένα από τα οποία περιλαμβάνει διαφορετικές συνθήκες ανέμου και ρευμάτων, χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα. Επιπλέον, για κάθε ένα από αυτά εξετάζονται δύο περιπτώσεις, εκ των οποίων στη μία ο χρόνος διαρροής είναι μικρός και στην άλλη είναι μεγαλύτερος.

Τέλος, χρησιμοποιώντας τα μοντέλα GNOME και ADIOS πραγματοποιήθηκε η μοντελοποίηση των σεναρίων αυτών, για να εξαχθούν σημαντικά στοιχεία για την κίνηση και την συμπεριφορά των πετρελαιοειδών που αναμένεται να διαρρεύσουν στην θαλάσσια στήλη της Καλντέρας. Εν κατακλείδι, στη παρούσα εργασία καταδείχτηκε ότι ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες ανέμου και ρευμάτων, ο χρόνος αντίδρασης των αρμόδιων αρχών έως ότου βρεθεί το πετρέλαιο στις ακτές, κυμαίνεται από 2 έως 6 ώρες.

Abstract

The current dissertation investigates the behavior and movement of the estimated amount of fuel oils remaining inside Sea Diamond , if the aforementioned spread across marine environment of caldera.

In particular, the leakage of fuel oils is being investigated, due to a crack formed as a result of corrosion and enormous weight which the hovering part of the ship has.

The dissertation's central element has to do with the most possible directions of wind and current near the shipwreck's area. Three scenarios are being analyzed For this purpose and each one of them represents different environmental circumstances. The study includes existing data. Furthermore, each scenario analyzes two separate cases, a first one where the leakage time is short and another one where the time is longer.

In conclusion, using programs such as GNOME and ADIOS occurred the recreation of these three scenarios in order to give important findings about fuel oil's, which is about to leak in the marine environment of Caldera in near future, spread and activity. To sum up, the current research concludes that depending on the wind and the water current, the people in charge have to act within 2 to 6 hours, after the fuel oil leakage reaches the beachfront.

Πίνακας περιεχομένων:

Ευχαριστίες.....	ii
Περίληψη.....	iii
Abstract	iv
Πίνακας περιεχομένων:	v
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	7
1.1. Γενικά.....	7
1.2. Ιστορικό του ναυαγίου του Sea Diamond	9
1.3. Σκοπός	11
Κεφάλαιο 2: Η περίπτωση του Sea Diamond.....	13
2.1. Εισαγωγή	13
2.2. Υφιστάμενη κατάσταση	13
2.3. Καύσιμα που περιείχε το Sea Diamond	15
2.3.1 Καύσιμα.....	15
2.3.2 Χαρακτηριστικά πετρελαίου κλάσης Heavy Fuel Oil (No 6 ή Bunker C)	16
2.3.3 Ιδιότητες του πετρελαίου κλάσης Heavy Fuel Oil (No 6 ή Bunker C)	19
Κεφάλαιο 3: Πετρέλαιο	21
3.1. Εισαγωγή	21
3.2. Σύσταση του πετρελαίου	21
3.3. Είδη πετρελαίου	23
3.4. Διεργασίες γήρανσης πετρελαιοκηλίδας.....	26
Εξάπλωση	28
Εξάτμιση	28
Διασπορά.....	28
Γαλακτωματοποίηση	29
Διάλυση	29
Οξείδωση.....	30
Καθίζηση.....	30
Βιοδιάσπαση	30
Κεφάλαιο 4: Μοντελοποίηση με χρήση κατάλληλων προγραμμάτων.....	33
4.1. Εισαγωγή	33
4.2. Τύποι μοντέλων.....	35
4.3. GNOME NOAA	37

4.4. ADIOS (Automated Data Inquiry for Oil Spills)	42
Κεφάλαιο 5: Σενάριο διαρροής από το Sea Diamond	46
5.1. Εισαγωγή	46
5.2. Κατάσταση του πλοίου	46
5.3. Διαφορετικά σενάρια	47
5.4. Ανάλυση κάθε σεναρίου	50
5.4.1. Σενάριο 1	50
5.4.2. Σενάριο 2	52
5.4.3. Σενάριο 3	54
5.5. Παραδοχές για GNOME και ADIOS	56
Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα μοντελοποίησης	57
6.1. Σενάριο 1	57
6.1.1. 1 ^η περίπτωση	57
6.1.2. 2 ^η περίπτωση	68
6.2. Σενάριο 2	77
6.2.1. 1 ^η περίπτωση	77
6.2.2. 2 ^η περίπτωση	87
6.3. Σενάριο 3	95
6.3.1. 1 ^η περίπτωση	95
6.3.2. 2 ^η περίπτωση	105
6.4. Σχολιασμός αποτελεσμάτων	113
6.4.1. Σενάριο 1	113
6.4.2. Σενάριο 2	117
6.4.3. Σενάριο 3	121
6.5. Σύγκριση σεναρίων	124
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και προτάσεις	125
Συμπεράσματα:	125
Προτάσεις:	126
Βιβλιογραφία	127
➤ Ελληνική	127
➤ Ξένα	127
➤ Διαδίκτυο	128

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1. Γενικά

Είναι γνωστό ότι το υδάτινο στοιχείο κυριαρχεί στην ζωή αφού οι θάλασσες καλύπτουν τα $\frac{3}{4}$ της Γης και πληθώρα οργανισμών κατοικούν σε αυτή.

Ο άνθρωπος χρησιμοποιεί την θάλασσα για πολλούς λόγους, όπως για να αντλεί φυσικούς πόρους, για να παράγει ενέργεια (πχ από τα κύματα) και για την ανάπτυξη αρκετών δραστηριοτήτων κάποιες από τις οποίες είναι η αλιεία, η αναψυχή, ο τουρισμός και η ναυσιπλοΐα με την οποία μετακινείται και μεταφέρει προϊόντα.

Επομένως, είναι προφανές ότι η προστασία των θαλασσών είναι πάρα πολύ σημαντική, καθώς η ρύπανση και μόλυνση που μπορεί να προκαλέσει σε αυτές ο ανθρώπινος παράγοντας αποτελεί ένα μεγάλο κίνδυνο για τον πλανήτη μας.

Στην σημερινή εποχή μια μορφή ρύπανσης που απασχολεί σε πολύ μεγάλο βαθμό τη Διεθνή Κοινότητα είναι αυτή που προκαλείται από τα πλοία. Ο αριθμός, καθώς και το μέγεθος αυτών αυξάνεται συνεχώς, με αποτέλεσμα να αυξάνεται τόσο η πιθανότητα πρόκλησης κάποιου ατυχήματος, όσο και το μέγεθος της ρύπανσης που μπορεί να προκαλέσει αυτό, με αποτέλεσμα μεγάλες οικολογικές καταστροφές.

Κάθε χρόνο, τα ευαίσθητα παράκτια οικοσυστήματα σε πολλά μέρη της γης καταστρέφονται από πλοία αλλά και από βιομηχανίες που εκλύουν πετρελαιοειδή ή άλλους ρύπους στα ποτάμια και στα παράκτια ύδατα. Επίσης, και οι ανοικτές θάλασσες πλήττονται από ορυκτέλαια τα οποία μπορεί να προέρχονται από ατυχήματα δεξαμενόπλοιων, από παράνομη απελευθέρωση πετρελαίου από τα πλοία, είτε και από αργή διαρροή πετρελαίου από υπόγειες πηγές.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα μελετηθεί ένα ναυτικό ατύχημα το οποίο έλαβε χώρα στην Ελλάδα στην περιοχή της Καλντέρας στην Σαντορίνη. Αυτό συνέβη στις 5 Απριλίου του 2007 όταν το κρουαζιερόπλοιο Sea Diamond προσέκρουσε σε ξέρα στον όρμο των Φηρών και στην συνέχεια βυθίστηκε στον όρμο του Αθηνιού, παίρνοντας μαζί του μεγάλες ποσότητες πετρελαιοειδών μέρος των οποίων παραμένει μέχρι σήμερα στο κουφάρι του πλοίου στον βυθό της θάλασσας. Έκτοτε έχουν γίνει αρκετές μελέτες ώστε να εκτιμηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του στο θαλάσσιο οικοσύστημα της περιοχής. Το Πολυτεχνείο Κρήτης και συγκεκριμένα το εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών και

Επικίνδυνων Αποβλήτων, με έγκυρη και αξιόπιστη επιστημονική προσέγγιση ανέλαβε την εκπόνηση μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων για την περιοχή.

Κατά την διάρκεια του ατυχήματος ενός πλοίου είναι πιθανόν να απελευθερωθούν πετρελαιοειδή, σε αυτή την περίπτωση τα κύρια ζητούμενα είναι η απόκτηση μια συνολικής εικόνας της πληγείσας περιοχής, της έκτασης που καταλαμβάνει η πετρελαιοκηλίδα και της κατεύθυνσης της. Παρακάτω θα αναλυθεί το τρίτο μέρος, δηλαδή ο προσδιορισμός της κατεύθυνσης της πετρελαιοκηλίδας η οποία θα δημιουργηθεί από μια πιθανή απελευθέρωση των πετρελαιοειδών που βρίσκονται ακόμα στις δεξαμενές του πλοίου καθώς και των φυσικοχημικών αλλαγών που θα υποστεί με την πάροδο του χρόνου.

1.2. Ιστορικό του ναυαγίου του Sea Diamond

Όπως αναφέρθηκε, στις 5 Απριλίου του 2007 το κρουαζιερόπλοιο Sea Diamond προσέκρουσε σε ύφαλο, και έπειτα από αρκετές ώρες βυθίστηκε στον όρμο Αθηνιός στην περιοχή της Καλντέρας στην Σαντορίνη.



Εικόνα 1.1: Η Θέση που βρίσκεται το πλοίο μετά την βύθισή του (Wikipedia).

Το κρουαζιερόπλοιο καθώς βούλιαζε ανατράπηκε και στην συνέχεια επικάθισε στην άκρη γκρεμού, όπου κρέμεται. Το πλοίο έχει κλίση 16° και πλευρική κλίση 40° προς τα δεξιά, με την πρύμνη του να βρίσκεται στα 147 μέτρα και την πλώρη του να βρίσκεται στα 125 μέτρα. Η τελευταία επισκόπηση που έγινε το Μάιο του 2009 δείχνει ότι η πλώρη του πλοίου δεν έχει επικαθίσει στον βυθό λόγω της ιδιομορφίας του, με αποτέλεσμα να επικρέμεται.

Σταδιακά μετά το ατύχημα άρχισε από το πλοίο η διαρροή ενός μέρους από την συνολική ποσότητα των καυσίμων τα οποία υπολογίζεται ότι πριν το ατύχημα ήταν περίπου 500 m^3 (ΕΡΕ). Επιπλέον, σταδιακά λόγω της διάβρωσής του, άρχισε να απελευθερώνει και ένα πλήθος ρυπογόνων και επικίνδυνων τοξικών ουσιών.

Για τον περιορισμό της διασποράς των πετρελαιοειδών που εκλύονταν καθημερινά από το κουφάρι του κρουαζιερόπλοιου, τοποθετήθηκε άμεσα πλωτό φράγμα και για αρκετό διάστημα έγιναν προσπάθειες για την συλλογή του πετρελαίου και τον καθαρισμό των

ακτών με ειδικά απορρυπαντικά σκάφη (**EPE**). Η αποτελεσματικότητα του πλωτού φράγματος είναι αμφισβητούμενη αφού η περιορισμένη επιφάνεια στην οποία εκτίνεται το φράγμα σε συνδυασμό με τους ανέμους και τα θαλάσσια ρεύματα που επικρατούν στην περιοχή έχουν σαν αποτέλεσμα την διαρροή εκτός αυτού σημαντικών ποσοτήτων πετρελαιοειδών. Στην φωτογραφία της Εικόνας 1.2 είναι διακριτή η παρουσία ελαιώδους φάσης εντός και εκτός του περιμετρικού φράγματος που έχει τοποθετηθεί πάνω από το σημείο που βρίσκεται βυθισμένο το Sea Diamond.



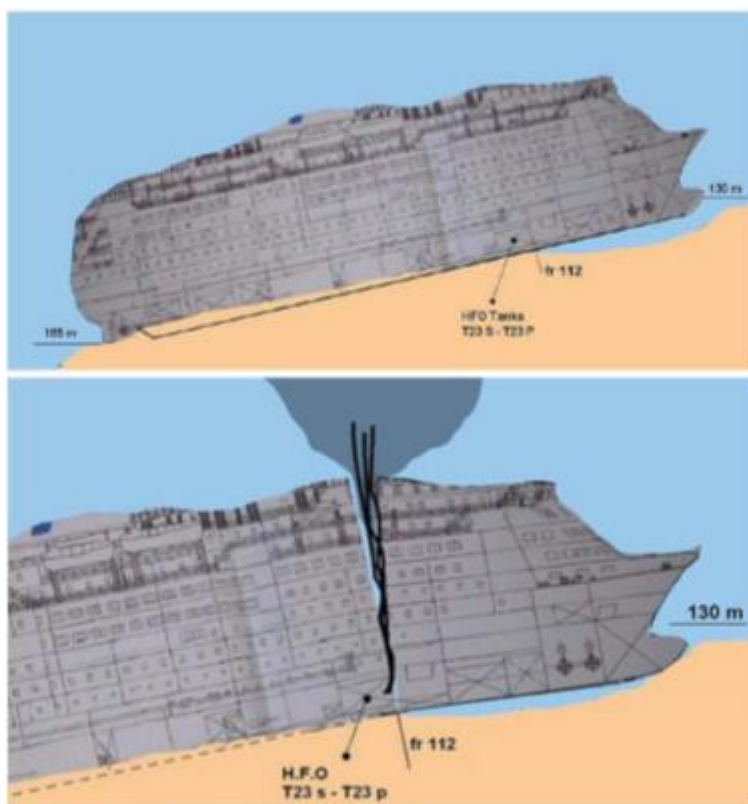
Εικόνα 1.2: Το πλωτό αντιρρυπαντικό φράγμα πάνω από το σημείο που βρίσκεται βυθισμένο το Sea Diamond (2010) (**Πολυτεχνείο Κρήτης, 2010-2011**).

1.3. Σκοπός

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της συμπεριφοράς και διασποράς της εκτιμώμενης ποσότητας των πετρελαιοειδών που παραμένει στο κρουαζιερόπλοιο, σε περίπτωση που αυτά διαρρεύσουν από το κουφάρι του Sea Diamond στο θαλάσσιο περιβάλλον της Καλντέρας.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία που αφορούν το ναυάγιο, δηλαδή το είδος, τα χαρακτηριστικά και η εκτιμώμενη ποσότητα του καυσίμου που βρίσκεται μέσα σε αυτό, καθώς επίσης και στοιχεία που αφορούν τα υδρολογικά και ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής.

Η τελευταία επισκόπηση του ναυαγίου έλαβε χώρα τον Μάιο 2009 και είχε επισημανθεί ότι το πλοίο από πλώρα, δηλαδή από του βολβού του μέχρι και του νομέα 112, σε μια απόσταση περίπου 42,7 μέτρων δεν έχει επικαθίσει και επικρέμεται **(Πολυτεχνείο Κρήτης 2016, Συγκεντρωτικά αποτελέσματα)**. Όπως μάλιστα προκύπτει από την Εικόνα 1.3, τούτο έχει ως συνέπεια λόγω του τεράστιου βάρους, να μην αντέχουν οι νομείς του και στο σημείο 112 ύπερθεν, έχει ήδη αρχίσει να παρουσιάζεται ρωγμή στο σκελετό.



Εικόνα 1.3: Αναπαράσταση της θέσης του ναυαγίου από την τελευταία επισκόπηση και το σημείο που θεωρούμε ότι θα αποκοπεί. **(Πολυτεχνείο Κρήτης, 2016)**

Η επικινδυνότητα όμως οφείλεται στο γεγονός ότι αν τελικά το πρωραίο αυτό τμήμα του πλοίου αποκοπεί, το επικρεμάμενο τμήμα θα αποκοπεί στο σημείο φρακτής 112 και η φρακτή 112 είναι η πλάτη των δεξαμενών βαρέων πετρελαίων HFOT23s και T23p χωρητικότητας η κάθε μία 140 m³. Αυτό συνεπάγεται ότι αν λάβει χώρα αποκοπή της φρακτής 112 τα εντός των δεξαμενών πετρέλαια θα ελευθερωθούν στη θάλασσα, με βαρύτατες όχι μόνο για το οικοσύστημα της Καλντέρας συνέπειες.

Τέλος, για τον προσδιορισμό της τροχιάς και της συμπεριφοράς των βαρέων αυτών πετρελαίων, χρησιμοποιήθηκαν δύο λογισμικά και πιο συγκεκριμένα το GNOME (General NOAA Oil Modeling Environment) και το ADIOS (Automated Data Inquiry for Oil Spills) τα οποία περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.

Κεφάλαιο 2: Η περίπτωση του Sea Diamond

2.1. Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο αναφέρεται η κατάσταση στην οποία βρίσκεται το πλοίο, οι εκτιμώμενες ποσότητες πετρελαιοειδών που περιέχει, καθώς και το είδος αυτών. Επίσης καταγράφονται οι περιεχόμενες ποσότητες των πετρελαιοειδών στις δεξαμενές του πλοίου πριν το ατύχημα.

2.2. Υφιστάμενη κατάσταση

Το κρουαζιερόπλοιο Sea Diamond προσέκρουσε και στην συνέχεια βυθίστηκε στην περιοχή της Καλντέρας στην Σαντορίνη. Κατά την βύθισή του αλλά και λόγω της πίεσης που υπάρχει εξαιτίας του βάθους, το κουφάρι του πλοίου υπέστη περεταίρω σοβαρές υλικές ζημιές και ρήγματα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να λάβει χώρα αμέσως μετά το ναυάγιο διαρροή πετρελαιοειδών η οποία και συνεχίζεται. Πέρα όμως από τα πετρελαιοειδή, σταδιακά απελευθερώνονται στο θαλάσσιο περιβάλλον της Καλντέρας ένα πλήθος επικίνδυνων και τοξικών ουσιών.

Πιο συγκεκριμένα, με όσο το κουφάρι θα κείται ακόμα στο βυθό:

- Η διάβρωση των μεταλλικών τμημάτων του ναυαγίου, όπως εξ άλλου έχει ήδη αποδειχθεί από τη μέχρι τώρα μελέτη του Πολυτεχνείου Κρήτης (2009 – 2016) είναι σίγουρο ότι θα συνεχιστεί με εντονότερο ρυθμό.
- Οι εναπομένουσες στο ναυάγιο ποσότητα πετρελαιοειδών και βαρέων ελαίων θα διαρρεύσουν σταδιακά στο θαλάσσιο περιβάλλον.
- Τυπικές σημειακές διαβρώσεις, λίαν εντονότερες του μέσου ρυθμού διάβρωσης θα υφίστανται σε πολλά σημεία, επιφέροντας πιθανότατα τη διάνοιξη οπών στο κέλυφος του κουφαριού του Sea Diamond.

Στην παρακάτω Εικόνα 2.1 διακρίνονται οι υλικές ζημιές που έχει υποστεί το κουφάρι του πλοίου.



Εικόνα 2.1: Ζημιές στο σκελετό του Sea Diamond (Νομικός, 2011).

2.3. Καύσιμα που περιείχε το Sea Diamond

2.3.1 Καύσιμα

Οι μηχανές του Sea Diamond ήταν σχεδιασμένες για λειτουργία με εξαιρετικά βαριά και με υψηλό ιξώδες κλάσματα πετρελαίου τα οποία είναι γνωστά με την ονομασία Heavy Fuel Oils ή Marine Fuel Oils ή Bunker Fuels. Τα καύσιμα αυτά έχουν υψηλό ιξώδες και μεγάλο ποσοστό στερεών προσμίξεων και νερού **(Πολυτεχνείο Κρήτης, 2010-2011)**.

Το Πράσινο Διαβατήριο του Sea Diamond όμως αναφέρει δύο είδη καυσίμων (Heavy Fuel Oil και Marine Gas Oil) και ο λόγος είναι ότι ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) επιβάλλει την χρήση πιο ραφιναρισμένων κλασμάτων κατά την είσοδο/έξοδο σε λιμάνια και σε πλευση κοντά σε κατοικημένες περιοχές, για λόγους ελέγχου αέριων εκπομπών **(Environmental Protection Engineering S.A., 2008)**.

Πιο αναλυτικά το Πράσινο Διαβατήριο του πλοίου, αναφέρει ότι σύμφωνα με την καταγραφή του περιεχομένου των δεξαμενών πριν από τη βύθιση, το πλοίο είχε στις δεξαμενές του τις εξής ποσότητες καυσίμων:

- 437 τόνους πετρελαίου θαλάσσης βαρέου τύπου (Heavy Fuel Oil *HFO*, ή Bunker Oil C). Οι ποσότητες αυτές, εντοπίζονται στις δεξαμενές αποθήκευσης No 24S, 24P, 23S, 23P και No 36.
- 68 τόνους πετρελαίου θαλάσσης ελαφρού τύπου (Marine Gas Oil, *MGO*). Οι ποσότητες αυτές σύμφωνα με την καταγραφή, εντοπίζονται στις δεξαμενές T28, T5.

(Πρέπει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω τιμές είναι προσεγγιστικές.)

Επιπλέον, προκύπτει ότι στο τμήμα εκείνο που θεωρείτε ότι θα αποκοπεί λόγω της διάβρωσης, είναι η πλάτη των δεξαμενών T23s και T23p χωρητικότητας 140 κυβικών μέτρων η κάθε μια. Σύμφωνα με το Πράσινο Διαβατήριο, αυτές οι δεξαμενές περιέχουν το βαρέως τύπου πετρέλαιο Heavy Fuel Oil ή Bunker C ή No6.

2.3.2 Χαρακτηριστικά πετρελαίου κλάσης Heavy Fuel Oil (No 6 ή Bunker C)

Το πετρέλαιο Bunker C (No 6) είναι το πιο διαδεδομένο καύσιμο στην ναυτιλία. Είναι ένα πυκνό, παχύρρευστο έλαιο που παράγεται από την ανάμιξη βαρέων υπολειμματικών ελαίων με ελαφρύτερο έλαιο (συχνά No. 2 fuel oil) (noaa.gov). Τα υπολειμματικά έλαια είναι σύνθετα και μεταβλητά μίγματα ενώσεων σχετικά υψηλού μοριακού βάρους και είναι δύσκολο να χαρακτηριστούν λεπτομερώς.

Πιο συγκεκριμένα το Bunker C περιέχει περίπου **(από βάση δεδομένων του ADIOS):**

- 47% Αρωματικοί υδρογονάνθρακες
- 11% Ασφαλτένια
- 17% Ρητίνες
- 25% Κορεσμένοι υδρογονάνθρακες

Επίσης, αν και η ειδική βαρύτητα του συγκεκριμένου τύπου λαδιού είναι πολύ μεγάλη και κυμαίνεται από 0,95 έως 1,03, όταν αυτό διασκορπιστεί στο υδάτινο περιβάλλον είναι σε θέση να επιπλεύσει. Εάν όμως η πυκνότητα του είναι μεγαλύτερη από αυτή του νερού δεν θα επιπλεύσει (για παράδειγμα λόγω ανάμιξής του με άμμο, είτε απελευθέρωσή του σε γλυκά νερά όπου η πυκνότητά τους θα είναι μικρότερη από αυτή του θαλασσινού νερού). Εάν η πυκνότητά του είναι μικρότερη από αυτή του νερού, τότε όταν αυτό εκρεύσει, συνήθως θα εξαπλωθεί σε χοντρές, σκουρόχρωμες κηλίδες και πρισσώδη συσσωματώματα (Tar balls) τα οποία μπορούν να περιέχουν μεγάλες ποσότητες πετρελαίου. Επιπλέον, λόγω του πολύ μεγάλου ιξώδους του, θα παραμείνει στην επιφάνεια του νερού και πολύ λίγη ποσότητα είναι πιθανό να διασκορπιστεί και να διαλυθεί μέσα στη στήλη του νερού. Ακόμα, εάν έχει μεγάλη πυκνότητα μπορεί να παραμείνει ως ίζημα με αποτέλεσμα να προκαλέσει μεγάλης διάρκειας ρύπανση. Τέλος, αυτού του τύπου έλαια είναι πιθανό να σχηματίσουν γαλάκτωμα, αλλά συνήθως μετά από περίοδο πολλών ημερών(noaa.gov): .

Εν συντομία λοιπόν τα χαρακτηριστικά των βαρέων ελαίων HFO (Heavy Fuel Oils) είναι (noaa.gov):

- Μικρή έως καθόλου εξάτμιση.
- Το υδατοδιαλυτό κλάσμα πιθανόν να είναι <10 ppm.
- Ενδέχεται να προκαλέσουν βαριά ρύπανση των ακτογραμμών.
- Πολύ χαμηλοί ρυθμοί γήρανσης, σχηματισμός μικρών σφαιριδίων (tar balls).
- Πιθανή ρύπανση μεγάλης διάρκειας από ιζήματα.

- Η χρήση διασκορπιστικών είναι σπάνια αποτελεσματική λόγω πολύ μεγάλου ιξώδους.
- Δύσκολος ο καθαρισμός των ακτογραμμών.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι ακόμα και σε πολύ δυνατούς ανέμους, παραπάνω από το 70 % της ποσότητας του πετρελαίου Bunker C που θα έχει απελευθερωθεί στην θάλασσα, θα συνεχίσει να επιπλέει στην επιφάνεια (**noaa.gov**).

Όλα τα παραπάνω παρουσιάζονται και στον πίνακα που ακολουθεί παρακάτω:

Πίνακας 2.1: Διαδικασίες που κινούν τους πετρελαϊκούς υδρογονάνθρακες μακριά από το σημείο εκροής (**Oil in the Sea III: Inputs, Fates, and Effects, 2003**).

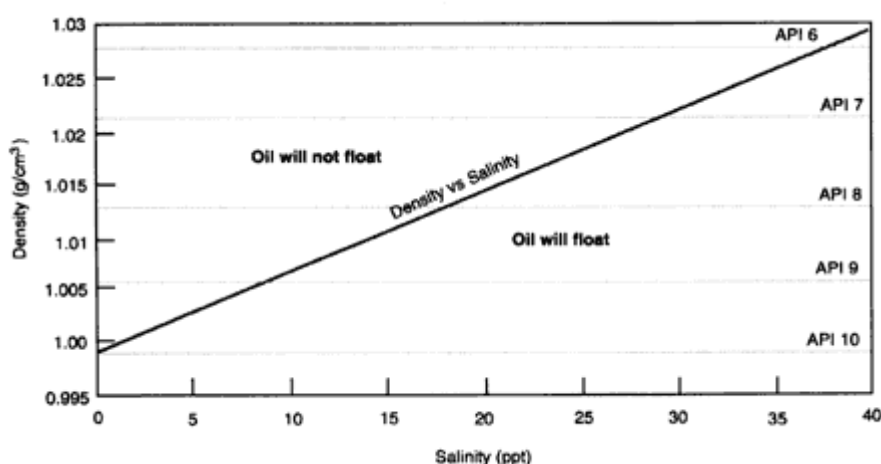
Τύπος	Εμμονή του πετρελαίου	Εξάτμιση	Γαλακτωματοποίηση	Διάλυση	Οξείδωση	Οριζόντια μεταφορά ή κίνηση	Κάθετη μεταφορά ή κίνηση	Καθίζηση	Προσκόλληση στις ακτές	Πισσώδη συσσωματώματα (Tarballs)
Βενζίνη	Ημέρες	Υ	ΜΣ	Μ	Χ	Χ	Χ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ελαφρά αποστάγματα πετρελαίου	Ημέρες	Μ	Χ	Υ	Χ	Μ	Υ	Χ	Χ	ΜΣ
Αργό πετρέλαιο	Μήνες	Μ	Μ	Μ	Μ	Μ	Μ	Μ	Υ	Μ
Βαριά αποστάγματα	Χρόνια	Χ	Μ	Χ	Χ	Υ	Χ	Υ	Υ	Υ
2-stroke engines (Βενζίνη & Ελαφρά αποστάγματα)	Ημέρες	Υ	ΜΣ	Μ	Χ	Χ	Χ	Χ	ΜΣ	ΜΣ
Σημείωση: Υ= Υψηλό, Χ= Χαμηλό, Μ= Μεσαίο, ΜΣ= Μη σχετικό										

2.3.3 Ιδιότητες του πετρελαίου κλάσης Heavy Fuel Oil (No 6 ή Bunker C)

Για να διεξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη συμπεριφορά του καυσίμου που περιέχουν οι δεξαμενές του κρουαζιερόπλοιου Sea Diamond, κατά την απελευθέρωση του, θα πρέπει να συγκριθούν κάποια χαρακτηριστικά.

Αρχικά, υπολογίζεται ο λόγος της πυκνότητας του καυσίμου προς την πυκνότητα του υδάτινου αποδέκτη. Εάν ο λόγος είναι μεγαλύτερος από 1,0, τότε το καύσιμο δεν θα επιπλεύσει ενώ εάν είναι μικρότερος από 1,0, τότε θα επιπλεύσει. Επίσης, εάν η τιμή του λόγου είναι πολύ κοντά στην τιμή 1,0, τότε το καύσιμο είναι πολύ πιθανό να βυθιστεί από τη δράση των κυμάτων (**National Research Council, 1999**).

Το διάγραμμα 2.1, δείχνει τη σχέση μεταξύ της πυκνότητας και της αλατότητας του νερού για μια σταθερή θερμοκρασία. Επίσης, δείχνεται και η πυκνότητα με βάσει τον βαθμό βαρύτητας API (American Petroleum Institute). Ο °API δείχνει το πόσο βαρύ ή ελαφρύ είναι ένα πετρέλαιο σε σχέση με το νερό. Εάν η τιμή αυτού είναι μεγαλύτερη από 10, τότε είναι ελαφρύτερο και επιπλέει στο νερό, εάν όμως είναι μικρότερη από 10, τότε είναι βαρύτερο και βυθίζεται.



Διάγραμμα 2.1: Επιπλευσιμότητα ελαίου σε σχέση με την πυκνότητα και τον βαθμό βαρύτητας API (**Spills of Nonfloating Oils: Risk and Response**).

Τα χαρακτηριστικά στο σημείο του ναυαγίου είναι:

- Το βάθος που βρίσκεται το πλοίο είναι περίπου 145m
- Η θερμοκρασία είναι $\approx 15,5-16,3^{\circ}\text{C}$
- Η πυκνότητα $\approx 1028,75 - 1028,95 \text{ g/mL}$ και
- Η αλατότητα $\approx 39\%$

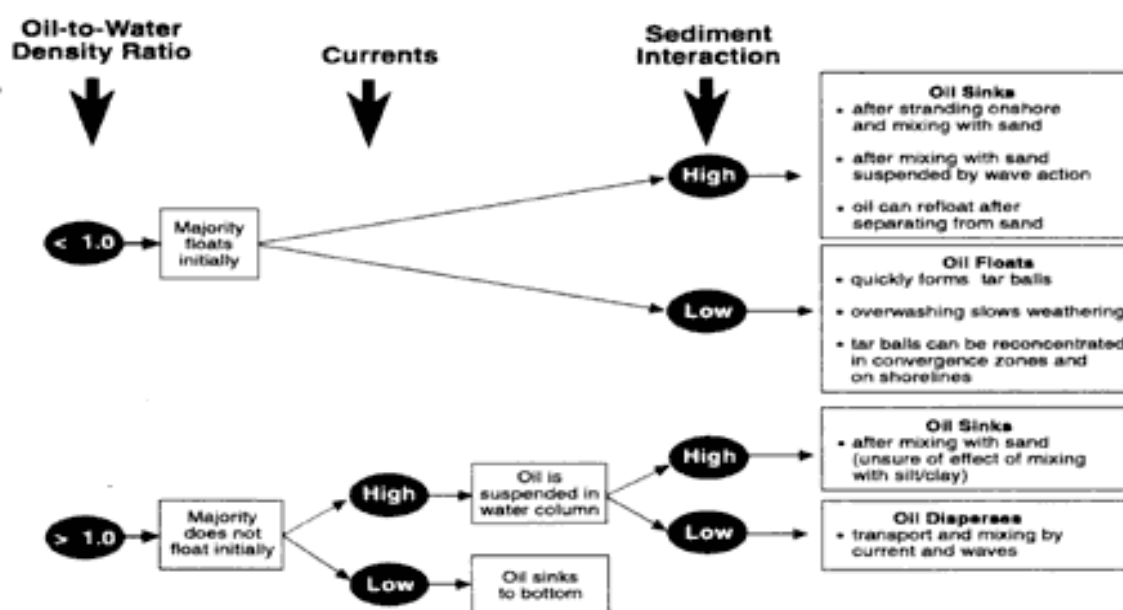
Οι ιδιότητες του πετρελαίου που βρίσκεται στις δεξαμενές του Sea Diamond είναι:

- Πυκνότητα: $\approx 0,98 \text{ g/mL @ } 16^\circ\text{C}$
- $^\circ\text{API} = 11.4$

Επίσης η αλληλεπίδραση του πετρελαίου με τα επιφανειακά ιζήματα παίζει σημαντικό ρόλο για την επίπλευση ή όχι του πετρελαίου. Εάν είναι έντονη, τότε το πετρέλαιο καταβυθίζεται και συγκεντρώνεται κοντά στις ακτές, όπου αναμιγνύεται με την άμμο, υπό την επίδραση των κυμάτων. Στη συνέχεια διαλύεται στην θαλάσσια στήλη και επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση, επιπλέοντας στην επιφάνεια της θάλασσας. Εάν δεν είναι έντονη, τότε το πετρέλαιο επιπλέει σχηματίζοντας μικρές κηλίδες οι οποίες τείνουν να συγκεντρωθούν κοντά σε παράκτιες περιοχές υπό την επίδραση των κυμάτων (Νομικός, 2011).

Επομένως, θεωρείται ότι η ποσότητα του πετρελαίου που θα απελευθερωθεί, θα φτάσει σχεδόν όλη στην επιφάνεια της θάλασσας εκτός και εάν αναμιχθεί με ιζήματα ή σωματίδια τα οποία θα προκαλέσουν αύξηση στην πυκνότητα του, με αποτέλεσμα να βυθιστεί.

Τα παραπάνω συνοψίζονται στο Σχήμα 2.1 που ακολουθεί..



Σχήμα 2.1: Συμπεριφορά των μη-επιπλεόντων πετρελαίων (Spills of Nonfloating Oils: Risk and Response)

Κεφάλαιο 3: Πετρέλαιο

3.1. Εισαγωγή

Το πετρέλαιο (από τα Ελληνικά *πέτρα* και *έλαιο*, «λάδι της πέτρας» / λατινικά *petroleum*), είναι ένα παχύρρευστο, μαύρο ή βαθύ καφετί ή πρασινωπό υγρό πέτρωμα, που αποτελεί και τη σπουδαιότερη σήμερα φυσική πηγή ενέργειας (**Wikipedia**).

Το αργό (ακατέργαστο) πετρέλαιο είναι υγρό πέτρωμα, μίγμα υδρογονανθράκων, δηλαδή ουσιών που περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο, κατά ένα μεγάλο μέρος της σειράς των αλκανίων, που όμως περιέχει και αρκετούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, καθώς και άλλες οργανικές ενώσεις και το οποίο βρίσκεται μέσα σε κοιλότητες διαφόρων πετρωμάτων στα ανώτερα στρώματα μερικών περιοχών τού φλοιού της Γης (**Miller, 2004**).

3.2. Σύσταση του πετρελαίου

Το πετρέλαιο σχηματίστηκε από οργανικά υπολείμματα νεκρών οργανισμών, σε διάφορες χρονικές περιόδους της ιστορίας της γης, που διατηρήθηκαν σε μορφή απολιθωμάτων, σε μέρη όπου η απουσία οξυγόνου εμπόδισε την αποδόμησή τους.

Λόγω της διαφορετικής του προέλευσης, η ποιότητα και η σύσταση του πετρελαίου διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Διακόσιες έως τριακόσιες διαφορετικές ενώσεις περιέχονται στο αργό πετρέλαιο.

Το 50-98% αυτού αποτελείται από υδρογονάνθρακες, οι κυριότερες κατηγορίες των οποίων είναι (**Φυτιανός, 1996**):

Αλκάνια (παραφίνες): Οι ενώσεις με 5-7 άτομα άνθρακα είναι υγρές, ενώ εκείνες με μεγαλύτερο αριθμό ατόμων βρίσκονται σε στερεή κατάσταση. Τα αλκάνια είναι σχετικά μη τοξικές ενώσεις και βιοαποδομούνται από διάφορους μικροοργανισμούς. Τα αλκάνια διακλαδισμένης αλυσίδας αποδομούνται δυσκολότερα από τα ευθείας αλυσίδας. Όσο μικρότερος είναι ο αριθμός των ατόμων C, τόσο πιο πτητικές και ευδιάλυτες στο νερό είναι οι ενώσεις.

Κυκλοαλκάνια: Αυτά με 5-6 άτομα άνθρακα αποτελούν το 30-60% του πετρελαίου. Εκτός αυτών, περιέχονται δικυκλικά και πολυκυκλικά ναφθένια. Οι ενώσεις αυτές είναι πολύ ανθεκτικές στη μικροβιολογική αποδόμηση.

Αρωματικές ενώσεις: Είναι πτητικές ενώσεις και αποτελούν το 2-4% του πετρελαίου. Υπάρχουν μερικοί μικροοργανισμοί που επιλεκτικά αποδομούν τις ενώσεις αυτές.

Άλλες ενώσεις: Εκτός των υδρογονανθράκων υπάρχουν κι άλλες ενώσεις στο πετρέλαιο. Οι πιο σημαντικές είναι οι θειούχες.

Επίσης λαμβάνοντας υπόψη την σύνθεσή τους, τα πετρέλαια κατατάσσονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

Παραφινικά πετρέλαια. Αυτά περιέχουν στερεή παραφίνη και κατά την απόσταξη δίνουν σημαντική αναλογία ελαφρών κλασμάτων που αποτελούνται αποκλειστικά από κεκορεσμένους υδρογονάνθρακες της αλειφατικής σειράς. Και τα μεν πρώτα της σειράς αυτής μεθάνιο, αιθάνιο, προπάνιο και βουτάνιο παρατηρούνται και στα αέρια που συνοδεύουν το πετρέλαιο στην εξόρυξή του.

Ασφαλτικά πετρέλαια. Αυτά δίνουν περισσότερο βαρέα κλάσματα όπως μαζούτ και ορυκτέλαια. Τα ελαφρά κλάσματα των πετρελαίων αυτών αποτελούνται κυρίως από κεκορεσμένους κυκλικούς υδρογονάνθρακες (ναφθένια) της πολυμεθυλενικής σειράς.

Ασφαλτοπαραφινικά πετρέλαια. Αυτά αποτελούν μίξη των παραπάνω κατηγοριών όπου η μία σειρά δεν υπερτερεί της άλλης.

3.3. Είδη πετρελαίου

Το πετρέλαιο έχει πολλά διαφορετικά είδη. Οι διαφορετικοί αυτοί τύποι, διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το ιξώδες, την πτητικότητα και την τοξικότητα τους.

- Το ιξώδες μιας ουσίας περιγράφει την αντίσταση της στην ροή. Όταν το πετρέλαιο απελευθερωθεί στη θάλασσα, το ιξώδες του πετρελαίου αυξάνεται προοδευτικά, πράγμα που οφείλεται στα φαινόμενα γήρανσης, όπως η εξάτμιση και η γαλακτωματοποίηση. Μια αλλαγή στο ιξώδες μεταβάλλει τη συμπεριφορά των ρύπων στην επιφάνεια της θάλασσας.
- Η πτητικότητα αναφέρεται στο πόσο γρήγορα το πετρέλαιο εξατμίζεται στον αέρα.
- Τέλος, η τοξικότητα αναφέρεται στο πόσο τοξικό ή δηλητηριώδες είναι το πετρέλαιο τόσο για τον άνθρωπο, όσο και για άλλους οργανισμούς.

Επίσης, ανάλογα με τον τύπο του, όταν αυτό χυθεί σε υδάτινο περιβάλλον, το επηρεάζει με διαφορετικό τρόπο. Ακόμα, μπορεί να διαφέρει και στη δυσκολία του να καθαριστεί.

Γενικά, τα είδη αυτά έχουν καταταχθεί σε τέσσερις βασικούς τύπους, οι οποίοι αναγράφονται παρακάτω, μαζί με μία γενική περίληψη για το πως κάθε τύπος μπορεί να επηρεάσει τις ακτές (noaa.gov).

➤ **Τύπος 1: Πολύ Ελαφρά έλαια (Κυροζίνη, βενζίνη)**

- Εξαιρετικά πτητικά (εξατμίζονται σε 1-2 ημέρες).
- Υψηλές συγκεντρώσεις τοξικών (διαλυτών) ενώσεων.
- Σοβαρές επιπτώσεις στην στήλη του νερού και σε παράκτιες περιοχές.
- Δεν είναι δυνατή η απορρύπανση.

➤ **Τύπος 2: Ελαφρά έλαια (Diesel, No 2 Μαζούτ, Ελαφριά ακατέργαστα πετρέλαια)**

- Μέτρια πτητικά. Αφήνουν κατάλοιπα (έως και το ένα τρίτο του ποσού της διαρροής) μετά από μερικές ημέρες.
- Έχουν την δυνατότητα δημιουργίας μακροχρόνιας ρύπανσης.
- Μέτριες συγκεντρώσεις τοξικών (διαλυτών) ενώσεων.
- Η απορρύπανση μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματική.

➤ **Τύπος 3: Μεσαία έλαια (περισσότερα ακατέργαστα έλαια)**

- Περίπου το ένα τρίτο θα εξατμιστεί μέσα σε 24 ώρες.
- Η πετρελαϊκή ρύπανση στις ακτογραμμές μπορεί να είναι σοβαρή και μακροπρόθεσμη.
- Οι επιπτώσεις του πετρελαίου στα υδρόβια θηλαστικά μπορεί να είναι σοβαρές.
- Η απορρύπανση είναι πιο αποτελεσματική εάν διεξαχθεί γρήγορα.

➤ **Τύπος 4: βαριά έλαια (βαρέα ακατέργαστα πετρέλαια, No 6 Μαζούτ, Bunker C)**

- Μικρή ή καθόλου εξάτμιση ή διάλυση.
- Πιθανή βαριά μόλυνση των ακτογραμμών.
- Σοβαρές επιπτώσεις στα υδρόβια πτηνά και θηλαστικά (επίστρωση και κατάποση).
- Μακροχρόνια ρύπανση των ιζημάτων.
- Οι διεργασίες γήρανσης είναι πολύ αργές.
- Ο καθαρισμός της ακτογραμμής είναι δύσκολος κάτω από όλες τις συνθήκες.

Πίνακας 3.1: Τύπος πετρελαιοειδών (medess4ms.eu/marine-pollution)

Τύπος	Πυκνότητα	Τύπος Πετρελαιοειδών
1	<0,8	Gasoline, Kerosene
2	0,8-0,85	Gas Oil, Abu Dhabi Crude
3	0,85-0,95	Arabian Light Crude, North Sea Crude Oils (e.g. Forties)
4	>0,95	Heavy Fuel Oil, Venezuelan Crude Oils

Επιπλέον, η κατηγορία του καυσίμου πετρελαίου, η οποία περιλαμβάνει κλάσματα με σημείο βρασμού μεταξύ 175 και 600 °C και μήκος ανθρακικής αλυσίδας από 9 έως 70 άτομα άνθρακα, διακρίνεται διεθνώς στις επιμέρους 6 ομάδες ή κλάσεις καυσίμων και πιο συγκεκριμένα (**Wikipedia**):

- Κλάση No.1: Είναι ένα πτητικό απόσταγμα πετρελαίου το οποίο αναφέρεται σε καύσιμα παρόμοια με την κηροζίνη, η οποία αποτελεί το κλάσμα με σημείο βρασμού αμέσως μεγαλύτερο από το τη βενζίνη.
- Κλάση No.2 : Είναι ένα απόσταγμα πετρελαίου θέρμανσης το οποίο είναι γνωστό και με το όνομα Bunker A. Αναφέρεται στο μείγμα που είναι γνωστό ως diesel και χρησιμοποιείται κυρίως στις οδικές μεταφορές.
- Κλάση No.3 : Είναι ένα απόσταγμα πετρελαίου για καυστήρες που απαιτούν καύσιμο χαμηλού ιξώδους. Ουσιαστικά αναφέρεται σε ένα απόσταγμα το οποίο δεν έχει ευρεία χρήση.
- Κλάση No.4 : Αποτελεί ένα μείγμα αποσταγμάτων και υπολειμματικών κλασμάτων των κλάσεων No.2 και No.6.
- Κλάση No.5 : Είναι ένα υπολειμματικό έλαιο το οποίο είναι γνωστό και ως Bunker B. Αποτελείται ουσιαστικά από ένα μείγμα της κλάσης No.6 και της κλάσης No.2.
- Κλάση No.6 : Είναι ένα υψηλού ιξώδους υπολειμματικό έλαιο το οποίο είναι γνωστό και ως Bunker C ή μαζούτ. Το κλάσμα αυτό όπως και το No.5 είναι παχύρευστο και χρησιμοποιείται σε μεγάλους κινητήρες για την κίνηση πλοίων ή για ηλεκτροπαραγωγή και απαιτεί θέρμανση πριν χρησιμοποιηθεί.

Πίνακας 3.2: Κλάσεις του καυσίμου πετρελαίου (Wikipedia).

Κλάση	Τύπος	Μήκος αλυσίδας άνθρακα
No. 1	Απόσταγμα	9-16
No. 2	Απόσταγμα	10-20
No. 3	Απόσταγμα	
No. 4	Απόσταγμα /Υπόλειμμα	12-70
No. 5	Υπόλειμμα	12-70
No. 6	Υπόλειμμα	20-70

3.4. Διεργασίες γήρανσης πετρελαιοκηλίδας.

Το πετρέλαιο και τα προϊόντα διύλισής του, παρουσιάζουν μια μεγάλη ποικιλία στη χημική τους σύσταση, γεγονός καταλυτικό για την τύχη τους στο θαλάσσιο περιβάλλον. Επίσης ο αριθμός των ατόμων άνθρακα ανά μόριο στα διάφορα κλάσματα είναι αποφασιστικής σημασίας για τη φυσική και χημική μεταφορά του στους ωκεανούς (**Φυτιανός, 1996**).

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της τύχης του πετρελαίου στη θάλασσα. Το πετρέλαιο με την είσοδό του στη θάλασσα μεταφέρεται με τους ανέμους, τα θαλάσσια ρεύματα, τα κύματα και την παλίρροια.

Συνήθως, τα ελαφρύτερα κλάσματα του πετρελαίου τα οποία είναι πιο πτητικά, εξατμίζονται σε μικρό χρονικό διάστημα. Επιπλέον, άλλα κλάσματα διαλύονται στη στήλη του νερού, ενώ άλλα γαλακτωματοποιούνται σε μικρά σταγονίδια τα οποία βιοαποδομούνται από βακτηριακούς μικροοργανισμούς. Τα βαρύτερα κλάσματα δημιουργούν πισσώδη συσσωματώματα (Tars) τα οποία συναντώνται συχνά και στις ακτές.

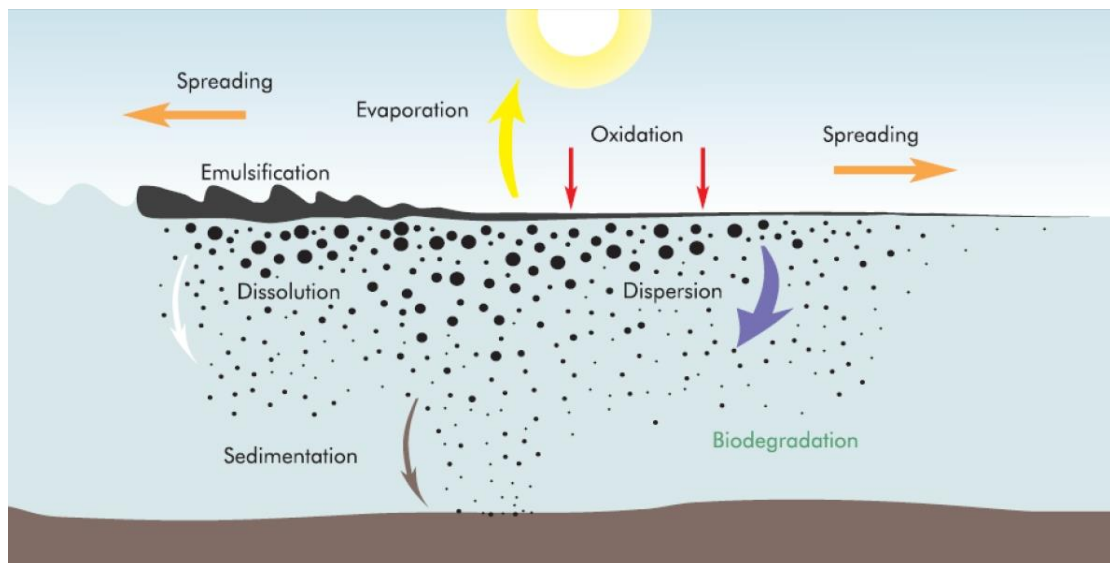
Η διανομή του πετρελαίου στην επιφάνεια της θάλασσας συμβαίνει υπό την επίδραση των δυνάμεων βαρύτητας και επηρεάζεται από το ιξώδες του πετρελαίου και την επιφανειακή τάση του νερού. Μόνο δέκα λεπτά μετά από μια διαρροή, ένας τόνος πετρελαίου μπορεί να διασκορπιστεί σε μια ακτίνα 50 m, σχηματίζοντας κηλίδα πάχους 10 mm. Η κηλίδα γίνεται λεπτότερη (μικρότερη από 1 mm), καθώς το πετρέλαιο συνεχίζει να εξαπλώνεται, καλύπτοντας έτσι έκταση έως και 12 km² (Ramade, 1978). Κατά τη διάρκεια των πρώτων ημερών μετά τη διαρροή, ένα σημαντικό μέρος του πετρελαίου μετατρέπεται σε αέρια φάση.

Έκτοτε περαιτέρω αλλαγές λαμβάνουν χώρα υπό τη συνδυασμένη επίδραση των μετεωρολογικών και υδρολογικών παραγόντων και εξαρτώνται κυρίως από την δύναμη και την κατεύθυνση του ανέμου, τα κύματα και τα ρεύματα. Μια πετρελαιοκηλίδα παρασύρεται συνήθως στην ίδια κατεύθυνση με τον άνεμο.

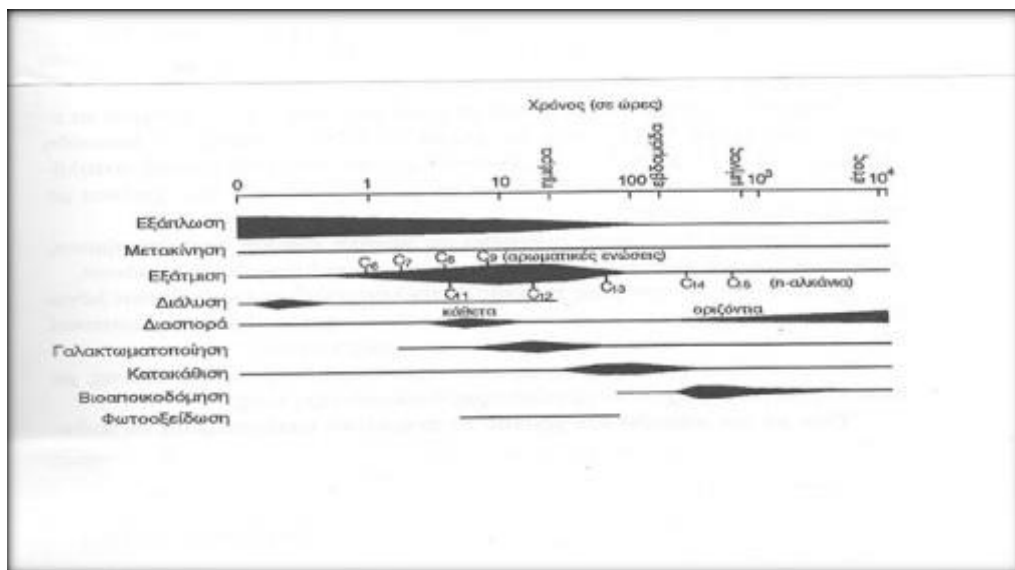
Στην συνέχεια ενώ οι κηλίδες λεπταίνει, ιδιαίτερα μετά το κρίσιμο πάχος του 0,1 mm περίπου, αποσυντίθεται σε ξεχωριστά κομμάτια που απλώνονται σε πιο απομακρυσμένες περιοχές (**Patin, 1999**).

Πιο αναλυτικά, η συμπεριφορά του πετρελαίου υπόκειται με το πέρασμα του χρόνου σε σημαντικές αλλαγές στη σύστασή του, το οποίο ονομάζεται γήρανση του πετρελαίου. Οι διεργασίες γήρανσης είναι οι ακόλουθες και περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω:

- Εξάπλωση / μεταφορά (spreading / transport)
- Εξάτμιση (evaporation)
- Διασπορά / Διάχυση (dispersion / diffusion)
- Γαλακτωματοποίηση (emulsification)
- Διάλυση (dissolution)
- Οξείδωση (oxidation)
- Καθίζηση / Καταβύθιση (sedimentation / sinking)
- Βιοδιάσπαση (biodegradation)



Εικόνα 3.1: Διεργασίες πετρελαίου σε θαλάσσιο περιβάλλον (medess4ms.eu/marine-pollution).



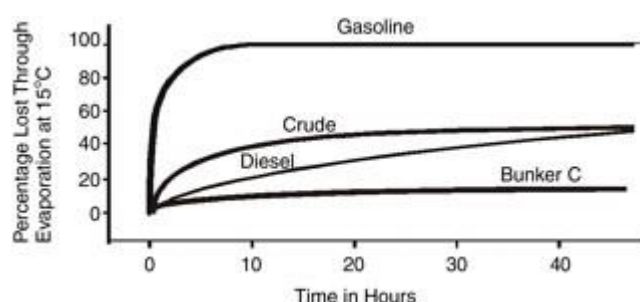
Εικόνα 3.2: Παράγοντες που καθορίζουν την τύχη μιας πετρελαιοκηλίδας στη θάλασσα σε συνάρτηση με το χρόνο (Φυτιανός, 1996).

Εξάπλωση

Μόλις το πετρέλαιο ελευθερωθεί στην επιφάνεια της θαλάσσης, αρχίζει να εξαπλώνεται προς όλες τις κατευθύνσεις υπό την επίδραση των δυνάμεων βαρύτητας, ιξώδους και επιφανειακής τάσης. Όσο πιο χαμηλό είναι το ιξώδες τόσο πιο γρήγορα εξαπλώνεται. Επίσης το πάχος δεν παραμένει παντού το ίδιο αλλά μπορεί να διαφέρει σημαντικά (λόγω της επίδρασης ισχυρών ανέμων, της ενέργειας των κυμάτων κτλ.). Ακόμα, υπολογίζεται ότι η πετρελαιοκηλίδα μπορεί να μετακινηθεί κατά 60% λόγω των ρευμάτων και κατά 2-4% λόγω των ανέμων (Φυτιανός, 1996).

Εξάτμιση

Το πετρέλαιο λόγω της χαμηλότερης πυκνότητας σε σχέση με το νερό, εξαπλώνεται γρήγορα στην επιφάνεια της θάλασσας. Συγχρόνως όλα τα συστατικά που έχουν θερμοκρασία βρασμού μέχρι 200 °C συνήθως εξατμίζονται εντός 24 ωρών (για ελαφριά κλάσματα), ή σχηματίζουν πισσώδη σφαιρίδια (Tar balls) που παραμένουν στην επιφάνεια και τελικά καταλήγουν σε κάποια ακτή ή αποδομούνται με την πάροδο του χρόνου από μικροοργανισμούς (για βαριά κλάσματα). Ακόμα ο ρυθμός της εξάτμισης επηρεάζεται από το πάχος, την πτητικότητα του πετρελαίου και από τις καιρικές συνθήκες (ITOPF, 2014).



Εικόνα 3.3: Ποσοστό εξάτμισης διαφόρων τύπων πετρελαίου για θερμοκρασία 15°C (Oil in the Sea III: Inputs, Fates, and Effects, 2003).

Διασπορά

Η ανάδευση της πετρελαιοκηλίδας λόγω έντονου κυματισμού στην επιφάνεια της θάλασσας οδηγεί στην δημιουργία μικρών ή μεγάλων σταγονιδίων. Τα μικρού μεγέθους σταγονίδια παραμένουν κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας ενώ τα μεγαλύτερα επανέρχονται στην επιφάνεια και δημιουργούν ένα λεπτό στρώμα (φιλμ). Τα σταγονίδια που παραμένουν κοντά στην επιφάνεια αλλά μέσα στο νερό έχουν πολύ μεγάλη επιφάνεια και έτσι επιταχύνουν άλλες διεργασίες που οδηγούν σε ταχύτερη αποκατάσταση του περιβάλλοντος. Ο ρυθμός διασποράς εξαρτάται από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες και τη σύσταση της πετρελαιοκηλίδας.

Επίσης η διασπορά είναι ταχύτερη όταν το ιξώδες των ρυπαντών είναι χαμηλότερο. Η προσθήκη χημικών ουσιών (επιφανειακά δραστικών) μπορεί να επιταχύνει την φυσική διασπορά (ΙΤΟΡΕ, 2014).

Γαλακτωματοποίηση

Όταν λόγω των ανέμων η επιφάνεια του νερού αναδεύεται και σχηματίζεται αφρός, το νερό προσροφάτε από τη μάζα του πετρελαίου. Το πετρέλαιο ανάλογα με το είδος του, μπορεί να προσροφήσει ποσότητα πάνω από το 50% του βάρους του πολύ γρήγορα. Τα πολύ παχύρρευστα πετρέλαια προσροφούν το νερό πιο αργά. Στην συνέχεια η πετρελαιοκηλίδα χωρίζεται σε μικρές μάζες.

Τα γαλακτώματα πετρελαίου στο νερό, αποτελούνται από σωματίδια διαμέτρου από 5μm έως μερικά χιλιοστά και μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις στην επιφάνεια της θάλασσας υπό την δράση των κυμάτων (Φυτιανός, 1996).



Εικόνα 3.4: Γαλακτωματοποίηση πετρελαίου.

Διάλυση

Τα συστατικά του πετρελαίου που διαλύονται (έστω και λίγο) μεταβαίνουν σιγά-σιγά στην υδατική φάση. Επειδή οι ενώσεις που διαλύονται είναι κυρίως ελαφριοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (βενζόλιο, τολουόλιο κτλ.) οι οποίες εξατμίζονται πολύ πιο γρήγορα (10 ως 100 φορές), καθιστούν την διάλυση σαν διεργασία δευτερεύουσας σημασίας (ΙΤΟΡΕ, 2002). Είναι μια διεργασία που για τους ελαφρούς υδρογονάνθρακες ανταγωνίζεται την εξάτμιση. Τα αποτελέσματα της διάλυσης ωστόσο είναι τελείως διαφορετικά από εκείνα της εξάτμισης, επειδή οι υδρογονάνθρακες πετρελαίου που εισέρχονται στην υδατίνη φάση είναι δυνατόν να προσληφθούν από τους θαλάσσιους οργανισμούς, σε αντίθεση με

εκείνους που εξατμίζονται και έτσι απομακρύνονται από το θαλάσσιο περιβάλλον (Φυτιανός, 1996).

Οξείδωση

Οι υδρογονάνθρακες αντιδρούν με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο με αποτέλεσμα να δημιουργούν είτε διαλυτά προϊόντα είτε αδιάλυτες ενώσεις (tars) οι οποίες δημιουργούν συσσωματώματα (tar balls) που συχνά φτάνουν ως την ακτή. Ο ρυθμός οξείδωσης είναι γενικά αργός και εξαρτάται από την έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία και τα χαρακτηριστικά του πετρελαίου. Στην καλύτερη περίπτωση (έκθεση σε δυνατό ήλιο λεπτού στρώματος πετρελαίου) ο μέγιστος ρυθμός οξείδωσης και διάσπασης του φιλμ είναι μικρότερος του 0,1% ημερησίως (ΙΤΟΡΡ, 2014).

Καθίζηση

Μερικά από τα κλάσματα του πετρελαίου έχουν σχετική πυκνότητα μεγαλύτερη από αυτή του νερού, με αποτέλεσμα να βυθίζονται στο καθαρό ή ελαφρά υφάλμυρο νερό. Αυτά όμως είναι πολύ λίγα, επομένως η παρατηρούμενη κατακρήμνιση συσσωματωμάτων στον βυθό της θάλασσας, είναι αποτέλεσμα της προσκόλλησης στερεών σωματιδίων (ανόργανα ή οργανικά) στο πετρέλαιο. Το θαλασσινό νερό στα αβαθή έχει συχνά ένα πολύ μεγαλύτερο αριθμό αιωρούμενων σωματιδίων που βοηθούν στην κατακρήμνιση συσσωματωμάτων πετρελαίου (ΙΤΟΡΡ, 2002).

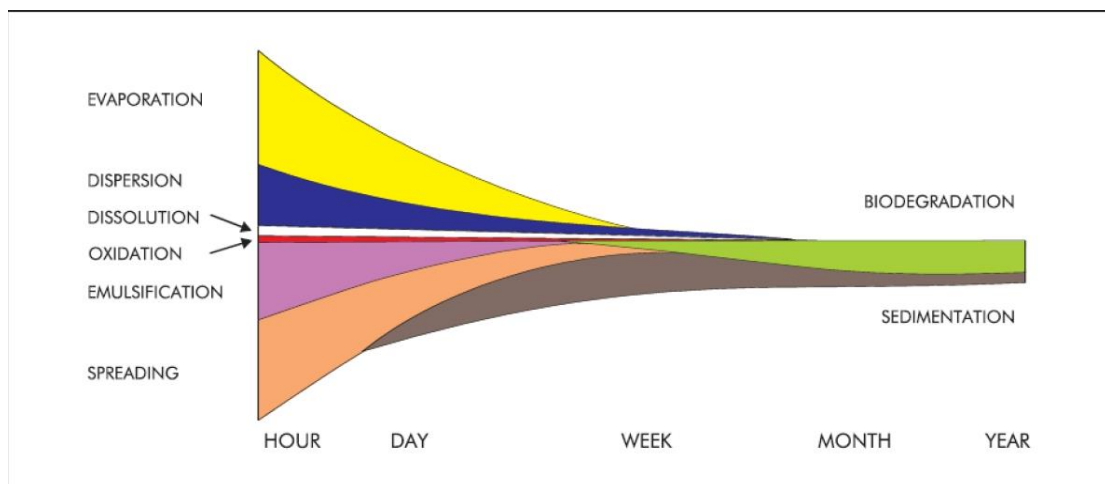
Δύο κλασσικές περιπτώσεις κατακρήμνισης είναι (α) όταν η πετρελαιοκηλίδα φτάσει σε αμμώδη ακτή, προσκολληθεί άμμος και αργότερα λόγω της δράσης των κυμάτων εισέλθει πάλι στην θάλασσα, (β) όταν πάρει φωτιά η πετρελαιοκηλίδα, τα υπόλοιπα της καύσης μπορεί να έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη του θαλάσσιου νερού.

Βιοδιάσπαση

Το θαλασσινό νερό περιέχει πολλούς μικροοργανισμούς οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να διασπούν συγκεκριμένα συστατικά του αργού πετρελαίου σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό (ΙΤΟΡΡ, 2014).

Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν την αποδοτικότητα των διεργασιών βιοδιάσπασης. Οι σημαντικότεροι είναι:

- Η συγκέντρωση θρεπτικών
- Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου
- Η θερμοκρασία
- Τα χαρακτηριστικά του πετρελαίου
- Η παρουσία οργανικών ενώσεων



Εικόνα 3.5: Χρονική εξέλιξη των φυσικοχημικών διεργασιών (medess4ms.eu/marine-pollution)

Πίνακας 3.3: Διαδικασίες που κινούν τους πετρελαϊκούς υδρογονάνθρακες μακριά από το σημείο εκροής (**Oil in the Sea III: Inputs, Fates, and Effects, 2003**).

Τύπος	Εμμονή του πετρελαίου	Εξάτμιση	Γαλακτωματοποίηση	Διάλυση	Οξειδωση	Οριζόντια μεταφορά ή κίνηση	Κάθετη μεταφορά ή κίνηση	Καθίζηση	Προσκόλληση στις ακτές	Πισσώδη συσσωματώματα (Tarballs)
Βενζίνη	Ημέρες	Υ	ΜΣ	Μ	Χ	Χ	Χ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ελαφρά αποστάγματα πετρελαίου	Ημέρες	Μ	Χ	Υ	Χ	Μ	Υ	Χ	Χ	ΜΣ
Αργό πετρέλαιο	Μήνες	Μ	Μ	Μ	Μ	Μ	Μ	Μ	Υ	Μ
Βαριά αποστάγματα	Χρόνια	Χ	Μ	Χ	Χ	Υ	Χ	Υ	Υ	Υ
2-stroke engines (Βενζίνη & Ελαφρά αποστάγματα)	Ημέρες	Υ	ΜΣ	Μ	Χ	Χ	Χ	Χ	ΜΣ	ΜΣ
Σημείωση: Υ= Υψηλό, Χ= Χαμηλό, Μ= Μεσαίο, ΜΣ= Μη σχετικό										

Κεφάλαιο 4: Μοντελοποίηση με χρήση κατάλληλων προγραμμάτων

4.1. Εισαγωγή

Για να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για την αποτελεσματική αντιμετώπιση μιας πετρελαιοκηλίδας, έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα που βοηθούν στην πρόβλεψη του μεγέθους της, της συμπεριφοράς της και της κίνησής της πάνω στην υδάτινη επιφάνεια. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να προβλεφθούν έγκαιρα οι περιοχές που πρόκειται να πληγούν συμβάλλοντας έτσι στην προετοιμασία ενός σχεδίου έκτακτης ανάγκης για την προστασία τους.

Στο κεφάλαιο λοιπόν αυτό, παρουσιάζονται οι αρχές λειτουργίας των μοντέλων, περιγράφοντας τόσο τις κατηγορίες αυτών, όσο και τα χαρακτηριστικά τους.

Τα περισσότερα από αυτά τα μοντέλα έχουν επικεντρωθεί σε μεγάλο βαθμό στις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια της θάλασσας. Αρκετά από αυτά χρησιμοποιούνται από Οργανισμούς και βιομηχανίες για τους παρακάτω λόγους:

- Αντιμετώπιση διαρροών έκτακτης ανάγκης: Σε περιπτώσεις τυχαίας διαρροής, συχνά χρησιμοποιείται ένα σύνθετο μοντέλο για να προβλέψει την κίνηση της πετρελαιοκηλίδας και τις διεργασίες που θα ακολουθήσουν. Αυτό το είδος των πληροφοριών είναι βασικό για τον καθορισμό των μέτρων προστασίας.
- Στρατηγικός προγραμματισμός έκτακτης ανάγκης: Τα μοντέλα τρέχουν χάρτες που δείχνουν την πιθανότητα να επηρεάσει μια περιοχή, μια πιθανή διαρροή δεδομένου ότι εμφανίζεται μια πετρελαιοκηλίδα.
- Αξιολόγηση μετά την πετρελαιοκηλίδα. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται μοντέλα είτε για να εκτιμήσουν επιπλέον επιπτώσεις που θα έχει αυτή στο περιβάλλον, είτε για να προσδιοριστεί η πιθανή προέλευση αυτής.

Η τροχιά μιας πετρελαιοκηλίδας μπορεί να υπολογιστεί σε ένα σύστημα αναφοράς με το συνδυασμό των δεδομένων που αφορούν τις τρέχουσες συνθήκες και τον άνεμο. Αυτό πριν την έλευση γρήγορων υπολογιστών, γινόταν με το χέρι πάνω σε ναυτικούς χάρτες με πρόχειρες εκτιμήσεις. Τα τελευταία χρόνια όμως έχουν αναπτυχθεί πολλά μοντέλα τα

οποία εκτιμούν την τροχιά αυτών. Αυτά ποικίλουν ως προς την προσαρμοστικότητά τους σε διάφορες τοποθεσίες, στην ευκολία χρήσης, καθώς επίσης και στην πολυπλοκότητά τους.

Οι βασικές κατηγορίες των μοντέλων, είναι δύο:

- Αυτά τα οποία εκτιμούν τις αλλαγές που υφίστανται οι ιδιότητες του πετρελαίου με την πάροδο του χρόνου και ταυτόχρονα εκτιμούν την πορεία του, η οποία συχνά παριστάνεται γραφικά σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS).
- Αυτά τα οποία εκτιμούν μόνο τις αλλαγές που υφίσταται το πετρέλαιο με την πάροδο του χρόνου.

4.2. Τύποι μοντέλων

➤ Ντετερμινιστικό μοντέλο

Προβλέπει την κίνηση μιας πετρελαιοκηλίδας και συνήθως εκτιμά την αλλαγή των ιδιοτήτων του πετρελαίου με βάση συγκεκριμένο σενάριο και υδρολογικά/μετεωρολογικά δεδομένα με την πάροδο του χρόνου. Τα αποτελέσματα των μοντέλων αυτών περιλαμβάνουν την προβλεπόμενη τροχιά της κηλίδας και τις εκτιμήσεις αυτής όσον αφορά τον όγκο, τη διασπορά, τη γαλακτωματοποίηση και την εξάτμιση στην πάροδο του χρόνου.

➤ Στοχαστικό μοντέλο

Δείχνει την πιθανότητα μια πετρελαιοκηλίδα να επηρεάσει την περιοχή μελέτης για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους, οι οποίες επιλέγονται από τον χρήστη, χρησιμοποιώντας μια σειρά από ιστορικά ανεμολογικά δεδομένα. Λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα δεδομένα εξάγει μια σειρά από αποτελέσματα τα οποία δείχνουν την πιθανότητα μιας περιοχής να προσβληθεί από την κηλίδα, καθώς επίσης και τις περιοχές οι οποίες είναι σε μεγαλύτερο κίνδυνο σε συγκεκριμένες εποχές. Χρησιμοποιείται κυρίως για τους σκοπούς του σχεδιασμού έκτακτης ανάγκης για να αναπτύξει μια σειρά από πιθανά σενάρια σχεδιασμού.

➤ Μοντέλο Back-Track / Hind-Cast

Παρόμοιο με το ντετερμινιστικό μοντέλο αλλά προσομοιώνει σενάρια αντίστροφα, για να προβλέψει την προέλευση μιας πετρελαιοκηλίδας. Ιδανικό για τη διερεύνηση μιας διαρροής όταν δεν είναι γνωστή η προέλευσή της.

➤ Μοντέλα τριών διαστάσεων

Πρόκειται για μοντέλα που πραγματοποιούν εκτιμήσεις σχετικά με το προφίλ του πετρελαίου σε 3 διαστάσεις. Τα μοντέλα αυτά χρειάζονται μεγαλύτερο, πολυπλοκότερο όγκο δεδομένων και λεπτομερή περιγραφή των ιδιοτήτων του πετρελαίου προκειμένου να παρέχουν μια αξιόπιστη εκτίμηση για το πώς θα συμπεριφερθεί το πετρέλαιο και πώς θα μετακινηθεί και σε βάθος, καθώς τα συστατικά του πετρελαίου αντιδρούν διαφορετικά όταν βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του νερού. Ακόμα, υπάρχουν τρισδιάστατα μοντέλα που ειδικεύονται στην προσομοίωση υποθαλάσσιων ρυπαντών.

➤ Μοντέλο Oil Weathering

Προβλέπει τις μεταβολές των χαρακτηριστικών του πετρελαίου που μπορούν να συμβούν κατά τη διάρκεια του χρόνου υπό την επίδραση ενός εύρους περιβαλλοντικών συνθηκών και ποικίλων περιβαλλοντικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία του νερού, οι ταχύτητες των υγρών σωματιδίων, η αλατότητα και το ύψος κύματος. Οι παραπάνω παράμετροι εισάγονται από τον χρήστη. Επίσης, ο τύπος του πετρελαίου μπορεί να εισαχθεί από τη βάση δεδομένων του προγράμματος. Το μοντέλο υπολογίζει στη συνέχεια το ποσοστό των μεταβολών του πετρελαίου ποσοτικά. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζεται πόσο πετρέλαιο εξατμίστηκε, πόσο γαλακτωματοποιήθηκε και πόσο μετακινήθηκε λόγω διασποράς. Τα μοντέλα αυτά είναι συνήθως πολύ εύκολα στη χρήση και χαρακτηρίζονται από πολύ μικρούς υπολογιστικούς χρόνους.

4.3. GNOME NOAA

Σε αυτή την παράγραφο θα παρουσιαστεί το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία προκειμένου να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα για μια πιθανή διαρροή από το ναυάγιο του Sea Diamond. Το πρόγραμμα αυτό είναι το GNOME (General NOAA Oil Modeling Environment).

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα, επιλέχθηκε καθώς είναι σχετικά απλό στην χρήση και έχει αρκετά μεγάλη βάση δεδομένων όσον αφορά τον τύπο του πετρελαίου και παράλληλα παρέχει στο χρήστη πολλά χρήσιμα αποτελέσματα.

Πιο αναλυτικά, το GNOME είναι ένα φιλικό προς το χρήστη μοντέλο, το οποίο αναπτύχθηκε από την HAZMAT (Hazardous Materials Response Division) της NOAA OR&R (National Oceanic and Atmospheric Administration Office of Response and Restoration) και χρησιμοποιείται για να προβλέψει την πιθανή διαδρομή ή τροχιά, που μπορεί να ακολουθήσει ένας ρύπος, μέσα ή πάνω στο νερό, όπως σε μια πετρελαιοκηλίδα, με σκοπό την αμεσότερη επέμβαση σε περίπτωση ατυχήματος.

Συγκεκριμένα με το GNOME ο χρήστης μπορεί:

- Να εκτιμήσει την τροχιά μιας διαρροής, ανάλογα με τις πληροφορίες για τον άνεμο και τις καιρικές συνθήκες τις οποίες έχει εισάγει ο χρήστης. Η τροχιά της παρουσιάζεται με την μορφή ταινίας.
- Να εκτιμήσει τις τροχιές οι οποίες έχουν τις ελάχιστες αβεβαιότητες, οι οποίες είναι λιγότερο πιθανό να συμβούν, όμως έχουν την μεγαλύτερη επικινδυνότητα.
- Να προβλέψει με αλγορίθμους τις αλλαγές που θα υποστεί το πετρέλαιο που θα είναι εκτεθειμένο στο υδάτινο περιβάλλον.
- Να χρησιμοποιήσει την πιθανή διαδρομή που έχει υπολογίσει το πρόγραμμα, ως είσοδο σε GIS προγράμματα.
- Να ενημερώσει γρήγορα τα δεδομένα ώστε να ξανά υπολογίσει και να αποθηκεύσει τα νέα αποτελέσματα.

Επειδή το GNOME δημιουργήθηκε ως ένα εργαλείο για διάφορα είδη χρηστών, περιλαμβάνει τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας:

1. Βασική λειτουργία (Standard Mode)
2. Λειτουργία εξόδου GIS (GIS Output Mode)
3. Λειτουργία διάγνωσης (Diagnostic Mode)

Στην **βασική λειτουργία**, την πιο αυτοματοποιημένη λειτουργία του GNOME, φορτώνεται στο πρόγραμμα ένα έτοιμο αρχείο το οποίο ονομάζεται Location File, το οποίο περιέχει ένα χάρτη της περιοχής και τα κυρίαρχα ρεύματα αυτής. Στην συνέχεια ζητά από τον χρήστη να εισάγει τις πληροφορίες τις οποίες χρειάζεται ώστε να τρέξει το μοντέλο. Σε αυτή την λειτουργία επίσης, ο χρήστης μπορεί να αποθηκεύσει τις ρυθμίσεις για μεταγενέστερη χρήση ή ακόμα μπορεί να εκτυπώσει μια εικόνα ή να δημιουργήσει μια “ταινιά” από την εκτέλεση του μοντέλου. Σε αυτή την λειτουργία όμως το μοντέλο δεν είναι ευέλικτο, ώστε να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση διαρροών, αλλά αποτελεί ένα καλό εργαλείο για την προσομοίωση διαρροών σε συγκεκριμένες θέσεις.

Παρόλα αυτά, στην παρούσα εργασία δεν θα χρησιμοποιηθεί η βασική λειτουργία επειδή τα έτοιμα αρχεία που προσφέρονται (Location Files) είναι πολύ περιορισμένα και δεν αφορούν την περιοχή μελέτης.

Στη **Λειτουργία εξόδου GIS**, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ένα Location File για να δημιουργηθεί το επιθυμητό σενάριο. Σε αυτή τη λειτουργία, μπορούν να εξαχθούν τα αποτελέσματα του μοντέλου σε GIS - συμβατή μορφή. Το GNOME επίσης μπορεί να εξαγει την τροχιά σε τύπο αρχείου που μπορεί να διαβαστεί σε έναν αριθμό διαφορετικών προγραμμάτων GIS. Τα δεδομένα από τα 2 προγράμματα (GNOME και κάποιο άλλο GIS πρόγραμμα) μπορούν να αποθηκευθούν σε ψηφιακή μορφή για περαιτέρω επεξεργασία και να εκτυπωθούν ως ένα. Η GIS Λειτουργία εξόδου χρησιμοποιείται κυρίως για τη χωρική ανάλυση ή για ανάλυση περιστατικών έκτακτης ανάγκης ατυχήματος διαρροής πετρελαίου.

Στην **λειτουργία διάγνωσης**, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα Αρχείο Τοποθεσίας (Location File), βοηθώντας τη ρύθμιση του μοντέλου ή μπορεί να δημιουργηθεί το μοντέλο από το μηδέν. (Χωρίς το Αρχείο Τοποθεσίας, το GNOME απαιτεί την εισαγωγή της ακτογραμμής και πληροφορίες σχετικά με το υδροδυναμικό της περιοχής.)

Στη Λειτουργία Διάγνωσης παρέχονται οι εξής επιπλέον δυνατότητες:

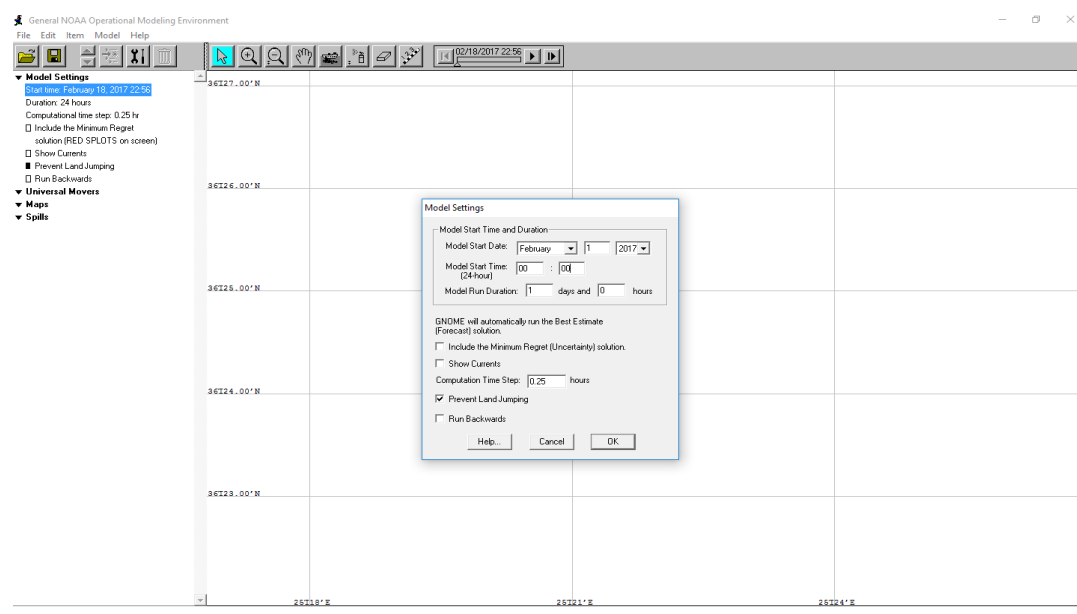
- Πλήρης πρόσβαση σε όλες τις παραμέτρους του μοντέλου και τις επιλογές κλιμάκωσης.
- Προσαρμογή του μοντέλου ώστε να εκπροσωπεί δεδομένα σε πραγματικό χρόνο.
- Με προηγμένη εκπαίδευση επάνω στο πρόγραμμα και εμπειρία πάνω στη δημιουργία υδροδυναμικών μοντέλων, δίνεται η δυνατότητα ανάπτυξης Αρχείων Τοποθεσίας.

- Μπορούν να οριστούν συντελεστές που ελέγχουν το μέγεθος και την κατανομή των χρησιμοποιούμενων συντελεστών αβεβαιότητας στις εκτιμήσεις "Ελάχιστης Αβεβαιότητας". (Στη Βασική Λειτουργία και στη Λειτουργία Εξόδου GIS, οι τιμές καθορίζονται στα Αρχεία Τοποθεσίας από τους κατασκευαστές των Αρχείων και δεν είναι προσβάσιμες στο χρήστη).

Δεδομένα που απαιτούνται για την χρήση του μοντέλου:

- Ημερομηνία και ώρα ατυχήματος.

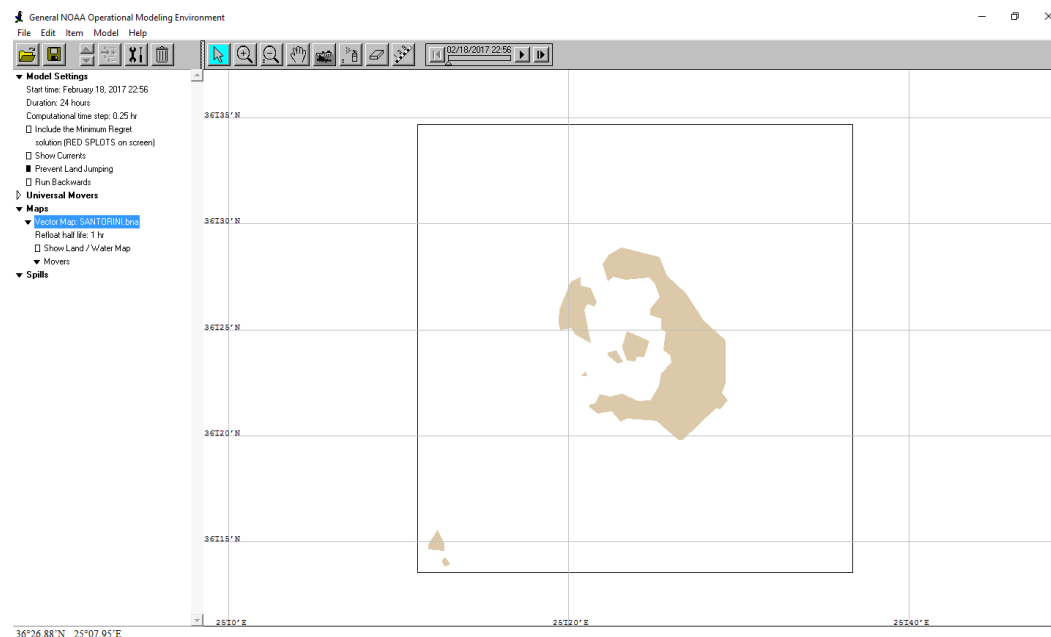
Αρχικά εισάγονται η ημερομηνία και η ώρα του ατυχήματος στην κατάλληλη καρτέλα. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής της διάρκειας εκτέλεσης του μοντέλου, της εμφάνισης ή μη της ελάχιστης αβεβαιότητας στην τελική αναπαράσταση της πετρελαιοκηλίδας κ. Στην Εικόνα 4.1 φαίνεται η καρτέλα εισαγωγής ημερομηνίας και ώρας.



Εικόνα 4.1: Καρτέλα εισαγωγής ημερομηνίας και ώρας.

- Χάρτης περιοχής μελέτης.

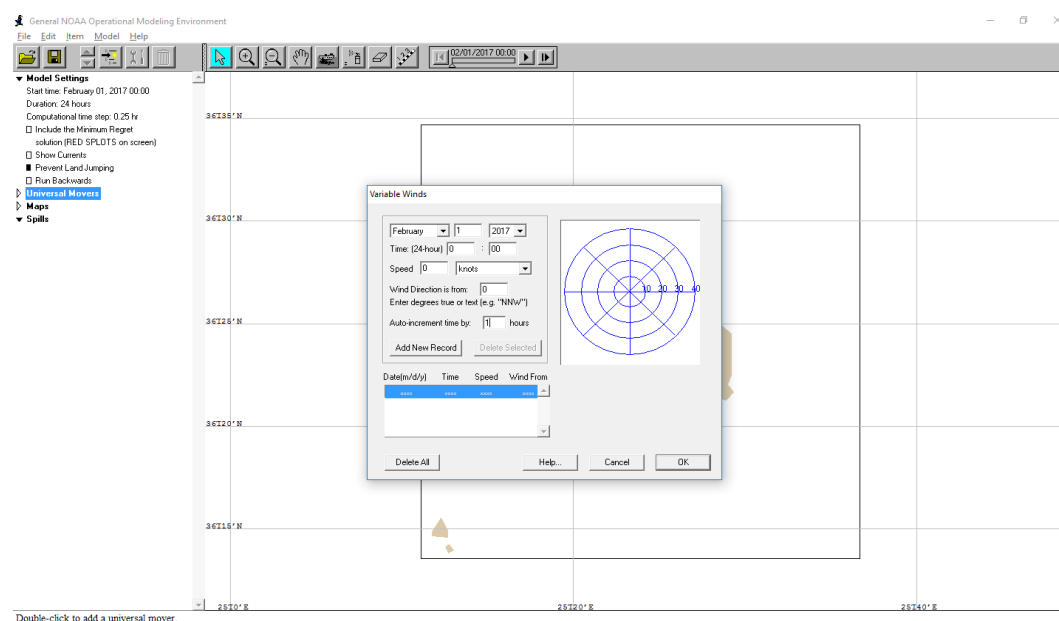
Στην συνέχεια στην Εικόνα 4.2 φαίνεται πως εισάγεται το αρχείο που αφορά τον χάρτη της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 4.2: Χάρτης περιοχής μελέτης.

- Ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής.

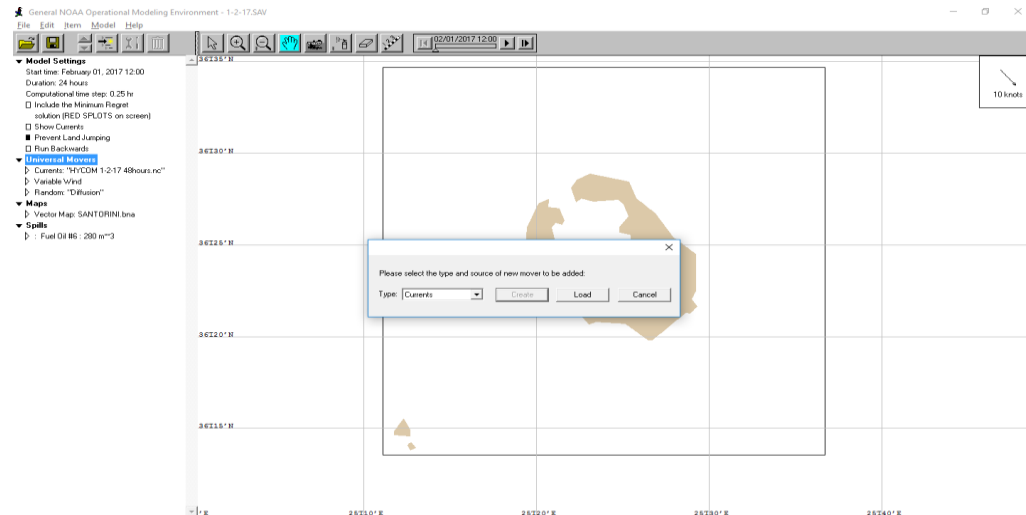
Επιπλέον, καταχωρούνται στα ανάλογα πεδία η ένταση και η κατεύθυνση του ανέμου. Όπως διακρίνεται στην Εικόνα 4.3, στην καρτέλα με τα ανεμολογικά δεδομένα υπάρχουν δύο επιλογές. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να επιλεγθεί η διατήρηση σταθερής κατεύθυνσης και έντασης ανέμου ή να επιλεγθεί η μεταβολή τους ανάλογα με την ημερομηνία και την ώρα.



Εικόνα 4.3: Καρτέλα εισαγωγής ανεμολογικών δεδομένων για μεταβαλλόμενη κατεύθυνση και ένταση ανέμου.

- Δεδομένα για τα ρεύματα της περιοχής.

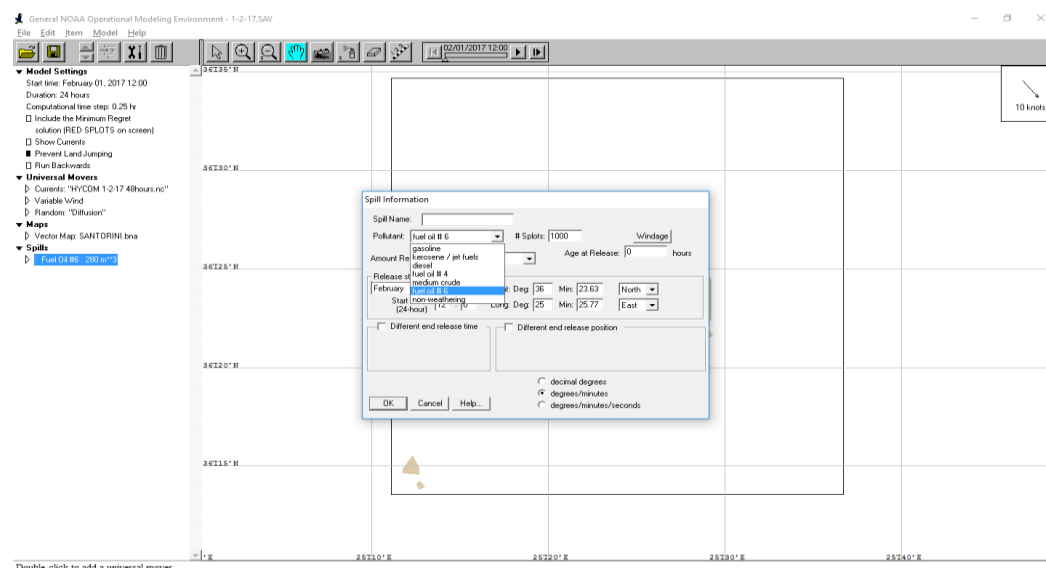
Ακολουθώς, εισάγεται το αρχείο που θα περιλαμβάνει τα υδρολογικά δεδομένα για την περιοχή μελέτης, για την ημερομηνία που θα λάβει χώρα το ατύχημα.



Εικόνα 4.4: Καρτέλα εισαγωγής αρχείου ρευμάτων.

Τέλος, όταν έχουν εισαχθεί όλες οι παραπάνω πληροφορίες, καθορίζεται το ακριβές σημείο από το οποίο θα λάβει χώρα η διαρροή του πετρελαίου. Αρχικά, το σημείο αυτό επιλέγεται στον χάρτη και στην συνέχεια τα δεδομένα για την πηγή ρύπανσης εισάγονται στην καρτέλα που θα εμφανιστεί. Αυτά είναι:

- Το είδος του πετρελαίου.
- Η συνολική ποσότητα διαρροής.
- Ο χρόνος διαρροής.



Double-click to add a universal mover.

Εικόνα 4.5: Καρτέλα εισαγωγής δεδομένων πηγής ρύπανσης.

4.4. ADIOS (Automated Data Inquiry for Oil Spills)

Παρακάτω θα αναλυθεί το δεύτερο πρόγραμμα το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία προκειμένου να μελετηθεί η συμπεριφορά της πετρελαιοκηλίδας μιας πιθανής διαρροής από το ναυάγιο του Sea Diamond. Το πρόγραμμα αυτό είναι το ADIOS.

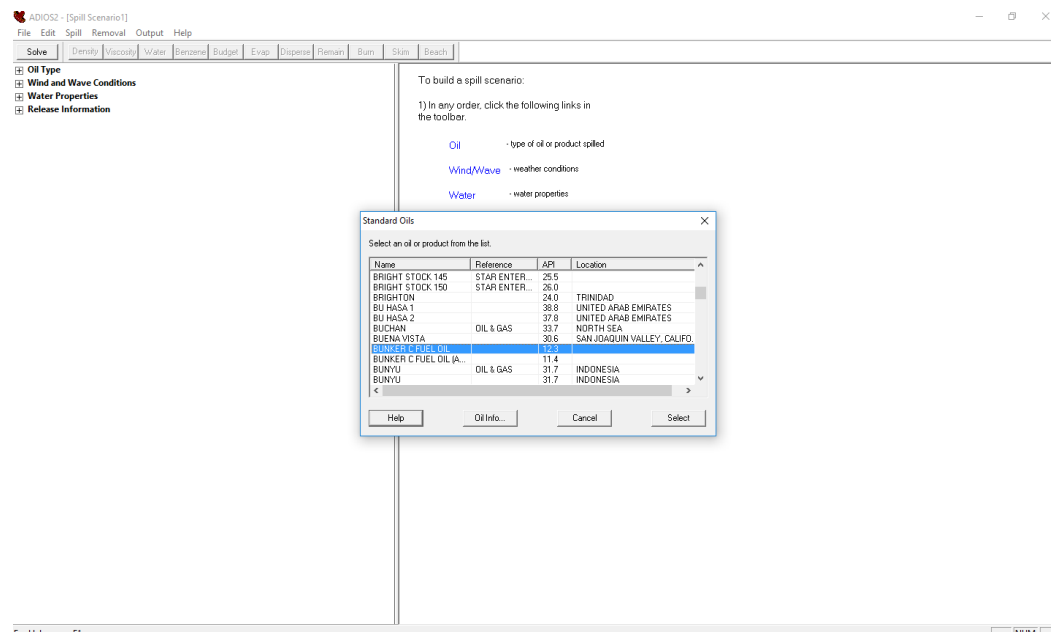
Το συγκεκριμένο πρόγραμμα, χρησιμοποιήθηκε καθώς είναι σχετικά απλό στην χρήση και έχει αρκετά μεγάλη βάση δεδομένων όσον αφορά τον τύπο του πετρελαίου και παρέχει στο χρήστη πολλά χρήσιμα αποτελέσματα όσο άφορα τις διεργασίες γήρανσης της πετρελαιοκηλίδας.

Πιο αναλυτικά, το ADIOS είναι ένα oil weathering μοντέλο που αναπτύχθηκε από τη NOAA. Ενσωματώνει μια βάση δεδομένων που περιέχει περισσότερα από χίλια προϊόντα αργού πετρελαίου και προϊόντα διύλισης και παρέχει γρήγορες εκτιμήσεις των αναμενόμενων χαρακτηριστικών και της συμπεριφοράς του πετρελαίου που διέρρευσε στο θαλάσσιο περιβάλλον σε σχέση με τον χρόνο. Οι προβλέψεις που πραγματοποιεί, οι οποίες παρουσιάζονται και γραφικά και ως κείμενο, έχουν σχεδιαστεί για να βοηθήσουν στη αντιμετώπιση τόσο των διαρροών, όσο και του καθαρισμού. Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της αποδοτικότητας που θα έχει η πιθανή χρήση κοινών τεχνικών αντιμετώπισης της κηλίδας, όπως τα χημικά διασκορπιστικά, οι πετρελαιοσυλλέκτες και η καύση του πετρελαίου. Επίσης, έχει σχεδιαστεί για να απαιτεί τα ελάχιστα δυνατά δεδομένα, τα οποία μπορούν εύκολα να βρεθούν από τον χρήστη, όπως είναι η ταχύτητα του ανέμου, η θερμοκρασία, η πυκνότητα και η αλατότητα του νερού, ο τύπος, η ποσότητα και ο ρυθμός διαρροής του πετρελαίου από την πηγή. Τέλος, χρησιμοποιώντας μαθηματικές εξισώσεις και τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί προβλέπει τη μεταβολή των χαρακτηριστικών του πετρελαίου λόγω των διεργασιών γήρανσης. Πιο συγκεκριμένα, προβλέπει τη χρονική μεταβολή της πυκνότητας, του ιξώδους, της περιεκτικότητας σε νερό και τα ποσοστά εξάτμισης.

Βήματα εισαγωγής των απαραίτητων δεδομένων για χρήση του προγράμματος:

- Είδος πετρελαίου

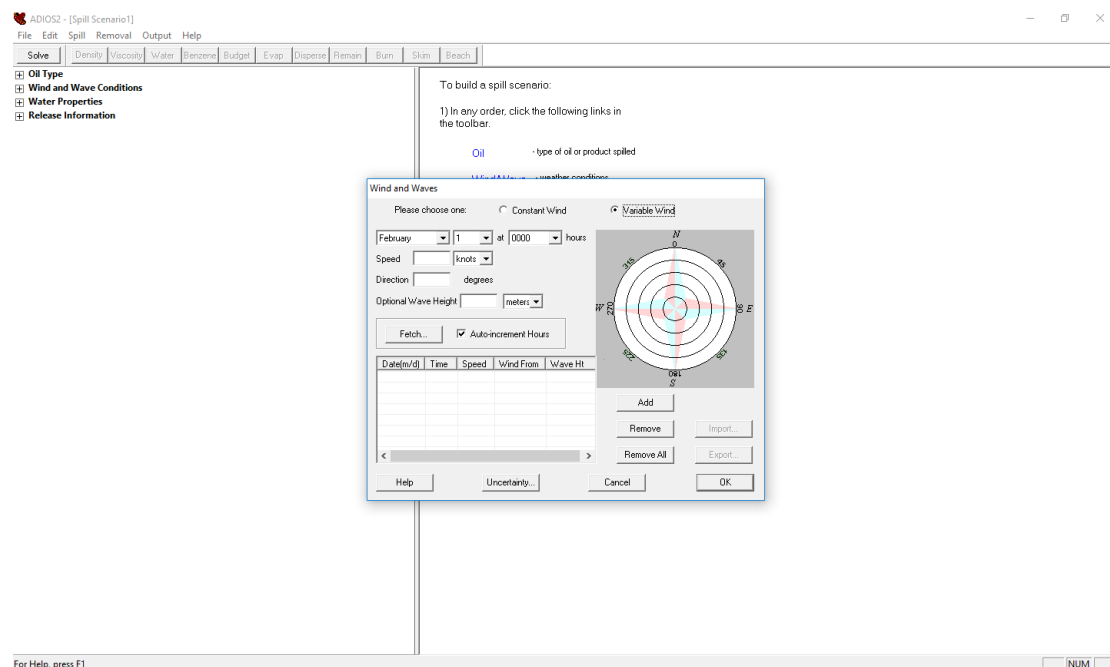
Αρχικά, μετά την έναρξη του προγράμματος επιλέγεται το είδος του πετρελαίου που θα διαρρεύσει από την πηγή. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.6, το πρόγραμμα έχει στην βάση δεδομένων του πολύ μεγάλη ποικιλία διαφόρων ειδών πετρελαίου, καθώς επίσης και τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους.



Εικόνα 4.6: Λίστα επιλογής του είδους του πετρελαίου.

- Ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής.

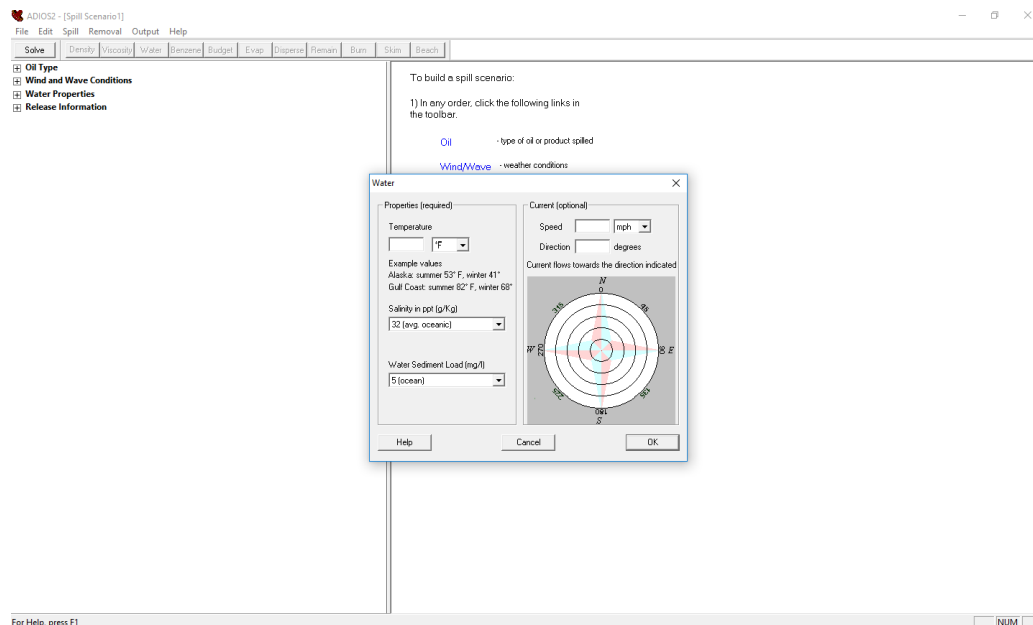
Στην συνέχεια, αφού εισαχθούν τα δεδομένα για την ένταση και την κατεύθυνση του ανέμου στην περιοχή, δίνεται η δυνατότητα επιλογής σταθερής ή μεταβαλλόμενης έντασης και κατεύθυνσης ανέμου .



Εικόνα 4.7: Παράθυρο εισαγωγής ανεμολογικών δεδομένων για μεταβαλλόμενη ένταση και κατεύθυνση.

- Υδρολογικά δεδομένα περιοχής.

Ακολούθως, εισάγονται τα δεδομένα που αφορούν τα χαρακτηριστικά του νερού. Πιο συγκεκριμένα, εισάγονται η θερμοκρασία, η αλατότητα και προαιρετικά η κατεύθυνση και η ένταση των ρευμάτων.

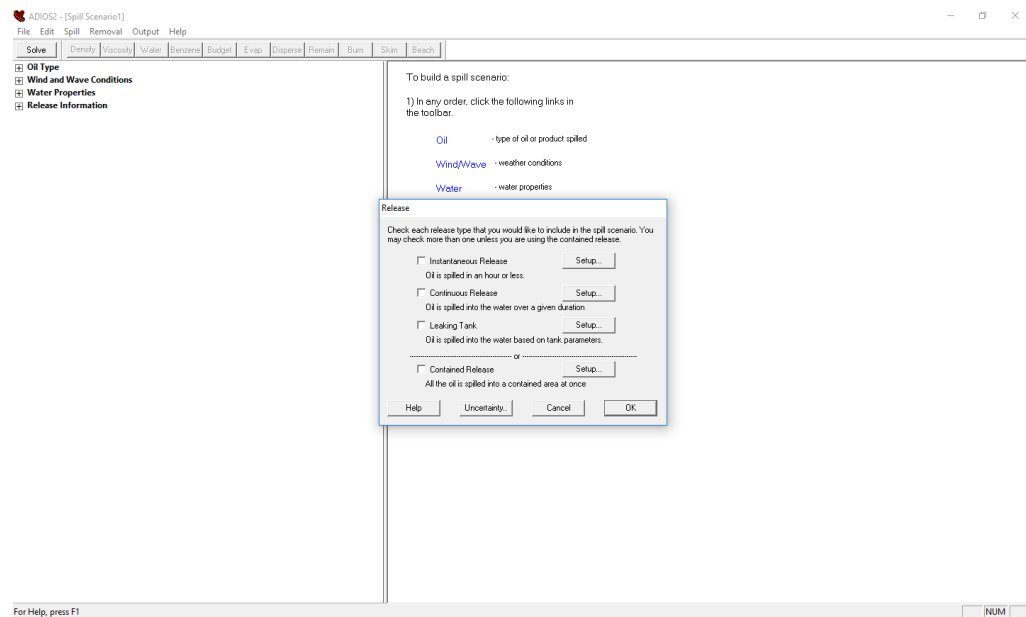


Εικόνα 4.8: Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων νερού.

- Δεδομένα πηγής διαρροής.

Στην συνέχεια, στην καρτέλα της Εικόνας 4.9 εισάγονται τα δεδομένα που αφορούν τη διαρροή του ρύπου. Ακολουθούν οι διαθέσιμες επιλογές.

- Instantaneous release (όταν η διαρροή έχει χρονική διάρκεια μικρότερη της μίας ώρας).
- Continuous release (όταν η διαρροή λαμβάνει χώρα για συγκεκριμένη διάρκεια).
- Leaking release (για διαρροή από μία δεξαμενή).
- Contained release (για διαρροή κατά την οποία όλο το πετρέλαιο διαρρέει σε μία συγκεκριμένη περιοχή αμέσως).



Εικόνα 4.9: Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων ρύπου.

Σε κάθε μία από τις παραπάνω επιλογές, θα χρειαστεί στην συνέχεια να συμπληρωθούν η ημερομηνία και η ώρα της διαρροής, καθώς επίσης και η ποσότητα του πετρελαίου που θα διαρρεύσει.

Κεφάλαιο 5: Σενάριο διαρροής από το Sea Diamond

5.1. Εισαγωγή

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής αποτελεί η μοντελοποίηση της πετρελαιοκηλίδας που θα δημιουργηθεί στην Καλντέρα όταν λάβει χώρα η απελευθέρωση των καυσίμων που παραμένουν στις δεξαμενές του Sea Diamond.

Στον παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα σενάρια που θα διερευνηθούν με την χρήση των προγραμμάτων GNOME και ADIOS. Τα σενάρια που δημιουργήθηκαν είναι τρία και διαφοροποιούνται ως προς την κατεύθυνση και ένταση των ανέμων και των ρευμάτων. Επίσης, για κάθε ένα από τα σενάρια θα μελετηθούν δύο περιπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα, μια περίπτωση κατά την οποία ο χρόνος διαρροής του καυσίμου θα είναι μικρός και άλλη μια κατά την οποία η διαρροή θα λαμβάνει χώρα σε μεγαλύτερη χρονική διάρκεια.

5.2. Κατάσταση του πλοίου

Όπως έχει αναφερθεί η εργασία αφορά το ναυάγιο του Sea Diamond, το οποίο έλαβε χώρα τον Απρίλη του 2007 στην Σαντορίνη και παραμένει μέχρι σήμερα στον βυθό της θάλασσας σε βάθος περίπου 150 μέτρων. Στην τελευταία επισκόπηση του ναυαγίου που έγινε τον Μάιο του 2009, φαίνεται ότι η πλώρη του πλοίου δεν έχει επικαθίσει στον βυθό και επικρέμεται. Αυτό σε συνδυασμό με την διάβρωση που έχει υποστεί τόσα χρόνια το σκαρί του πλοίου καθιστούν εξαιρετικά πιθανή την αποκοπή της πλώρης λόγω του βάρους της. Επιπλέον, στο σημείο της πιθανής αποκοπής του πλοίου, βρίσκονται δύο δεξαμενές καυσίμων (140 m³ η κάθε μία), οι οποίες πριν το ατύχημα ήταν γεμάτες με βαρέα κλάσματα πετρελαίου HFO. Επίσης, το γεγονός ότι στο σημείο αυτό το πλοίο κατά την πρόσκρουση του δεν υπέστη καμία βλάβη που να δικαιολογεί τη σταδιακή απελευθέρωση των καυσίμων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι παραπάνω δεξαμενές εξακολουθούν να είναι γεμάτες.

5.3. Διαφορετικά σενάρια

Αρχικά στον Πίνακα 1.1 που ακολουθεί, αναγράφονται, για κάθε μήνα του έτους 2016, οι μέσες κατευθύνσεις του ανέμου στην περιοχή του ναυαγίου.

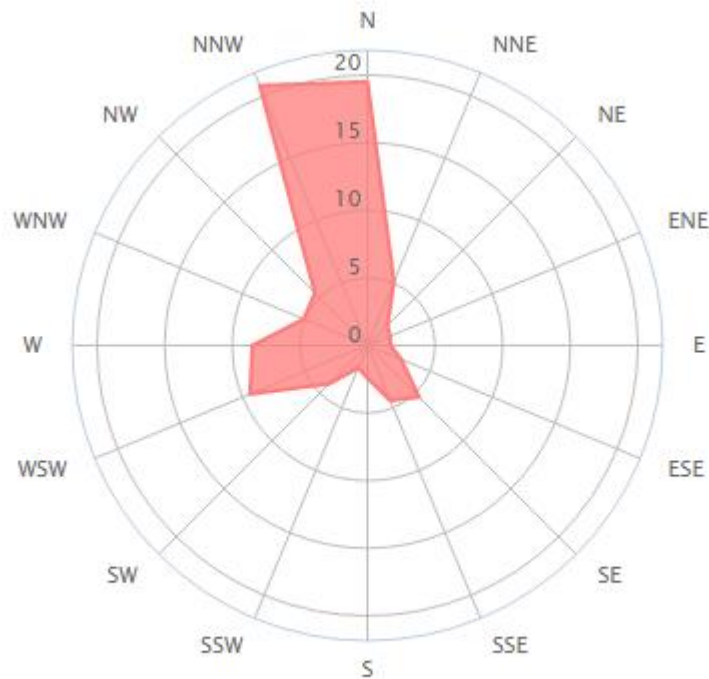
Πίνακας 5.1: Μέση ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου ανά μήνα για το έτος 2016 (meteo.gr).

Μήνας	Μέση ταχύτητα ανέμου (km/h)	Μέση κατεύθυνση
1	12,9	SW
2	8,9	SW
3	11,3	SW
4	9,8	SW
5	8,3	SW
6	8,2	SW
7	12	N
8	9,5	W
9	10,6	N
10	8,9	N
11	10,1	NNE
12	13,1	N
Μέση τιμή	10,3	SW

Όπως παρατηρείται, τους περισσότερους μήνες στην περιοχή πνέουν νοτιοδυτικοί άνεμοι (συγκεκριμένα από Ιανουάριο – Ιούνιο) και βόρειοι άνεμοι (συγκεκριμένα κατά τους μήνες Ιούλιο, Σεπτέμβριο, Οκτώβριο και Δεκέμβριο), ενώ σε ελάχιστες περιπτώσεις παρατηρούνται βορειοανατολικοί άνεμοι.

Προκύπτει λοιπόν ότι εάν η διαρροή πραγματοποιηθεί κατά την περίοδο Ιανουάριο – Ιούνιο, τότε το πιο πιθανό είναι να πνέουν νοτιοδυτικοί άνεμοι στην περιοχή, ενώ εάν λάβει χώρα κατά την διάρκεια κάποιου άλλου μήνα το πιο πιθανό είναι να πνέουν βόρειοι άνεμοι.

Παρόμοια αποτελέσματα προκύπτουν παρατηρώντας το διάγραμμα της Εικόνας 5.1 το οποίο απεικονίζει την ποσοστιαία κατανομή της κατεύθυνσης των ανέμων κατά το χρονικό διάστημα Νοέμβριος 2000 έως Φεβρουάριος 2017.



Εικόνα 5.1: Ποσοστιαία κατανομή κατεύθυνσης ανέμου από 11/2000 – 2/2017 (windfinder.com).

Εξετάζοντας λοιπόν τον Πίνακα 5.1 και την Εικόνα 5.1, παρατηρείται ότι οι πιο συνήθεις κατευθύνσεις ανέμου στην περιοχή μελέτης είναι:

- Δυτικοί – βορειοδυτικοί άνεμοι.
- Νότιοι – νοτιοδυτικοί άνεμοι.
- Νοτιοανατολικοί άνεμοι.

Για τον λόγο αυτό, κάθε ένα από τα τρία σενάρια που θα αναλυθούν, περιλαμβάνει αυτές τις κατευθύνσεις ανέμου.

Πιο συγκεκριμένα:

- Το 1^ο σενάριο θα περιέχει δυτικούς-βορειοδυτικούς ανέμους.
- Το 2^ο νότιους - νοτιοδυτικούς.
- Το 3^ο νοτιοανατολικούς.

Τα πρώτα δύο σενάρια, περιλαμβάνουν ανέμους, οι οποίοι συναντώνται σε μεγαλύτερη συχνότητα στην Καλντέρα, ενώ στην τρίτη περίπτωση δεδομένα τα οποία δεν συναντώνται με την ίδια συχνότητα, αλλά εξετάζονται για μια πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση του προβλήματος.

Επίσης, για όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα, κρίθηκε αναγκαία η εισαγωγή πραγματικών ωριαίων ανεμολογικών και υδρολογικών δεδομένων της περιοχής. Για τον λόγο αυτό, τόσο οι άνεμοι όσο και τα ρεύματα που θα χρησιμοποιηθούν παρακάτω περιλαμβάνουν μετρήσεις από συγκεκριμένες ημερομηνίες.

Τέλος, για κάθε σενάριο θα μελετηθούν οι περιπτώσεις μικρού και μεγάλου χρόνου διαρροής. Η παραπάνω επιλογή βασίζεται στο γεγονός ότι, δεν είναι δυνατόν να προβλεφθεί, εάν η προχωρημένη διάβρωση του σιδερένιου σκελετού θα οδηγήσει στη δημιουργία μιας μεγάλης ρωγμής που θα μεγαλώνει σταδιακά μέχρι το σπάσιμο ή σε συνδυασμό με το τεράστιο βάρος του πλοίου θα προκληθεί απότομη κατάρρευση του επικρεμάμενου τμήματος. Στην πρώτη περίπτωση αναμένεται τα καύσιμα να απελευθερωθούν πιο αργά στο θαλάσσιο περιβάλλον, ενώ στη δεύτερη αναμένεται η ταχεία απελευθέρωσή τους. Ακολούθως, στην πρώτη περίπτωση θα θεωρηθεί ως χρόνος διαρροής οι 24 ώρες, ενώ αντιστοίχως στη δεύτερη περίπτωση θα θεωρηθεί ως χρόνος διαρροής οι 2 ώρες.

5.4. Ανάλυση κάθε σεναρίου

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται τα δεδομένα για κάθε σενάριο ξεχωριστά, καθώς επίσης και τα αποτελέσματα των προγραμμάτων GNOME και ADIOS κατά την μοντελοποίηση αυτών.

Για όλα τα σενάρια, τα δεδομένα που αφορούν το είδος του πετρελαίου και την ποσότητα αυτού που θα διαρρεύσει, είναι κοινά. Πιο συγκεκριμένα:

- ✓ Είδος πετρελαίου: HFO (Bunker C).
- ✓ Ποσότητα: 280 m³.

Τέλος, όσον αφορά τη διάρκεια της διαρροής για κάθε σενάριο θα εξετασθούν οι δύο περιπτώσεις, με διάρκεια απελευθέρωσης τις 24 και τις 2 ώρες αντίστοιχα.

5.4.1. Σενάριο 1

Αφορά την διαρροή πετρελαίου από το κουφάρι του Sea Diamond για τις ημερομηνίες 1^η - 2^η Φεβρουαρίου του 2017. Η διαρροή θα ξεκινήσει στις 12:00 της 1^{ης} Φεβρουαρίου και θα απελευθερωθούν στη θαλάσσια στήλη 280 m³ πετρελαίου τύπου HFO.

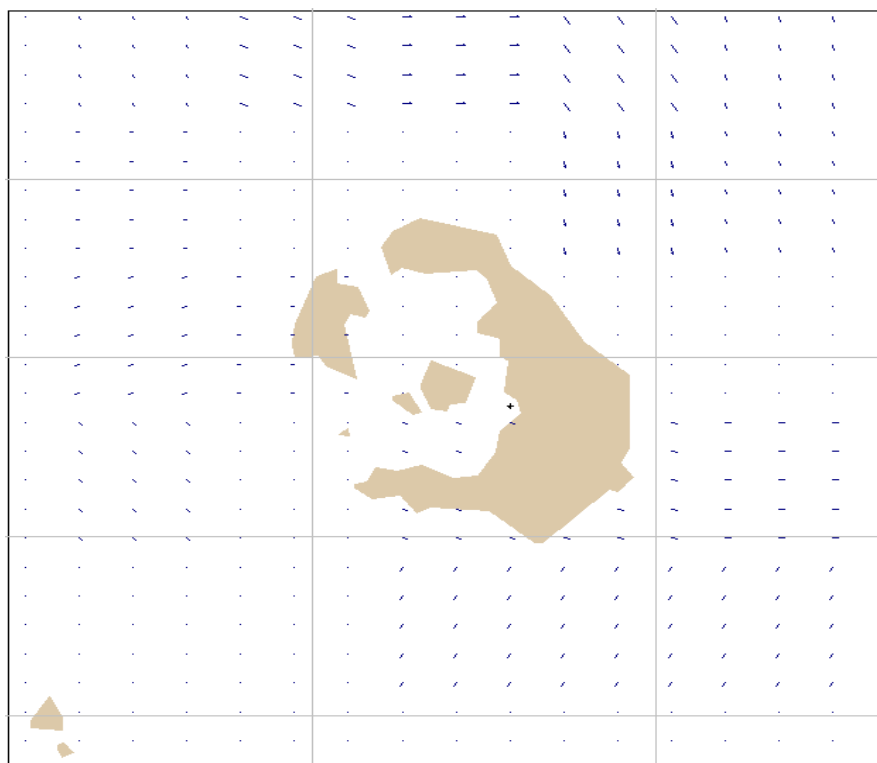
Επίσης, η κατεύθυνση των ανέμων που θα πνέουν στην περιοχή της Καλντέρας, θα είναι δυτική – βορειοδυτική. Η ωριαία ένταση και κατεύθυνση των ανέμων, παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακα 5.2:

Ημ/νία	1η Φεβρουαρίου 2017			2η Φεβρουαρίου 2017			2η Φεβρουαρίου 2017	
Ώρα	Ταχύτητα (knots)	Κατεύθυνση (Μοίρες)	Ώρα	Ταχύτητα (knots)	Κατεύθυνση (Μοίρες)	Ώρα	Ταχύτητα (knots)	Κατεύθυνση (Μοίρες)
12:00	10	320	0:00	6	280	12:00	0	
13:00	12	340	1:00	6	280	13:00	0	
14:00	12	340	2:00	6	290	14:00	5	240
15:00	10	330	3:00	6	300	15:00	0	0
16:00	8	340	4:00	6	280	16:00	6	160
17:00	8	330	5:00	5	260	17:00	0	
18:00	8	300	6:00	0		18:00	0	
19:00	8	300	7:00	0		19:00	5	180
20:00	7	300	8:00	0		20:00	0	
21:00	6	310	9:00	0		21:00	0	
22:00	5	290	10:00	0		22:00	3	0
23:00	6	280	11:00	5	90	23:00	7	240

Πίνακας 5.2: Δεδομένα 1^{ου} σεναρίου για την κατεύθυνση και ταχύτητα ανέμου ¹

¹ Πραγματικά δεδομένα

Τέλος, η κατεύθυνση των ρευμάτων της περιοχής απεικονίζεται στην Εικόνα 5.2.



Εικόνα 5.2: Ρεύματα της περιοχής για το 1^ο σενάριο (gnome.orr.noaa.gov/goods).²

² Πραγματικά δεδομένα

5.4.2. Σενάριο 2

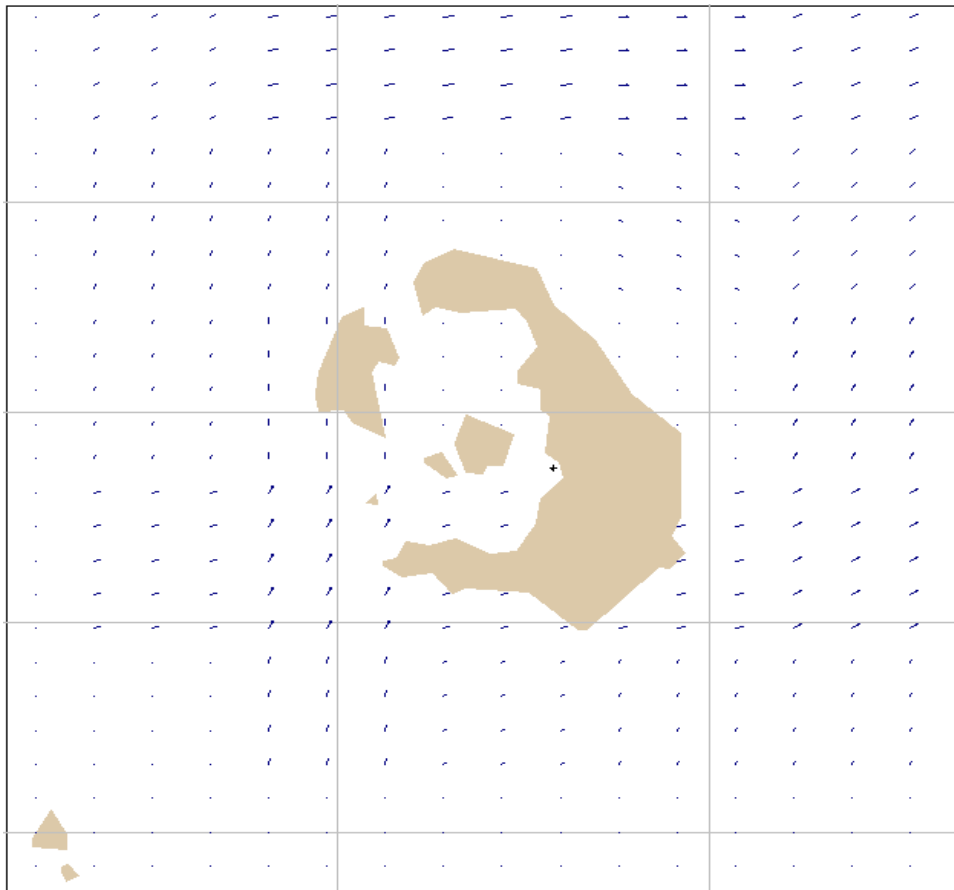
Αυτή η περίπτωση αφορά τη διαρροή πετρελαίου από το κουφάρι του Sea Diamond για τις ημερομηνίες 3^η-4^η Φεβρουαρίου του 2017. Σύμφωνα με το σενάριο αυτό, η διαρροή θα ξεκινήσει στις 12:00 της 3^{ης} Φεβρουαρίου και θα απελευθερωθούν στη θαλάσσια στήλη 280 m³ πετρελαίου τύπου HFO.

Επίσης, οι άνεμοι στην περιοχή της Καλντέρας, εκτιμάται ότι θα πνέουν με κατεύθυνση νότιο - νοτιοδυτική. Η ωριαία ένταση και κατεύθυνση των ανέμων, συνοψίζεται στον Πίνακα 5.3:

Ημ/νία	3η Φεβρουαρίου 2017			4η Φεβρουαρίου 2017			4η Φεβρουαρίου 2017	
Ώρα	Ταχύτητα (knots)	Κατεύθυνση (Μοίρες)	Ώρα	Ταχύτητα (knots)	Κατεύθυνση (Μοίρες)	Ώρα	Ταχύτητα (knots)	Κατεύθυνση (Μοίρες)
12:00	10	240	0:00	6	250	12:00	14	230
13:00	12	220	1:00	6	230	13:00	12	240
14:00	10	240	2:00	9	240	14:00	16	230
15:00	10	230	3:00	7	240	15:00	14	250
16:00	8	240	4:00	8	250	16:00	14	250
17:00	5	210	5:00	7	230	17:00	14	250
18:00	8	220	6:00	8	230	18:00	15	250
19:00	8	220	7:00	9	220	19:00	12	250
20:00	8	240	8:00	10	220	20:00	16	250
21:00	3	210	9:00	10	220	21:00	16	240
22:00	8	200	10:00	11	210	22:00	22	240
23:00	8	190	11:00	10	240	23:00	19	240

Πίνακας 5.3: Δεδομένα 2^{ου} σεναρίου για την κατεύθυνση και ταχύτητα ανέμου

Τέλος, η κατεύθυνση των ρευμάτων της περιοχής απεικονίζονται στην Εικόνα 5.3.



Εικόνα 5.3: Ρεύματα της περιοχής για το 2^ο σενάριο (gnome.orr.noaa.gov/goods).

5.4.3. Σενάριο 3

Αυτή η περίπτωση αφορά την διαρροή πετρελαίου από το κουφάρι του Sea Diamond για τις ημερομηνίες 6^η-7^η Φεβρουαρίου του 2017. Το τρίτο σενάριο προβλέπει ότι η διαρροή θα ξεκινήσει στις 12:00 της 6^{ης} Φεβρουαρίου και θα απελευθερωθούν στη θαλάσσια στήλη 280 m³ πετρελαίου τύπου HFO.

Επίσης, οι άνεμοι στην περιοχή της Καλντέρας, εκτιμάται ότι θα πνέουν με κατεύθυνση νοτιοανατολική. Η ωριαία ένταση και κατεύθυνση των ανέμων, συνοψίζεται στον Πίνακα 5.4:

Ημ/νία	6η Φεβρουαρίου 2017			7η Φεβρουαρίου 2017			7η Φεβρουαρίου 2017	
Ώρα	Ταχύτητα (knots)	Κατεύθυνση (Μοίρες)	Ώρα	Ταχύτητα (knots)	Κατεύθυνση (Μοίρες)	Ώρα	Ταχύτητα (knots)	Κατεύθυνση (Μοίρες)
12:00	12	150	0:00	14	160	12:00	20	160
13:00	10	150	1:00	11	160	13:00	12	280
14:00	13	140	2:00	16	180	14:00	14	280
15:00	12	150	3:00	13	140	15:00	15	270
16:00	11	150	4:00	20	150	16:00	5	320
17:00	10	150	5:00	17	160	17:00	5	320
18:00	9	160	6:00	18	160	18:00	0	250
19:00	11	180	7:00	18	160	19:00	0	250
20:00	15	160	8:00	20	160	20:00	6	210
21:00	14	200	9:00	20	160	21:00	4	210
22:00	16	180	10:00	22	160	22:00	4	190
23:00	16	180	11:00	18	160	23:00	6	160

Πίνακας 5.4: Δεδομένα 3^{ου} σεναρίου για την κατεύθυνση και ταχύτητα ανέμου

Τέλος, η κατεύθυνση των ρευμάτων της περιοχής απεικονίζονται στην Εικόνα 5.4.



Εικόνα 5.4: Ρεύματα της περιοχής για το 3^ο σενάριο (gnome.orr.noaa.gov/goods).

5.5. Παραδοχές για GNOME και ADIOS

Για το GNOME:

- ✓ Ο χάρτης που χρησιμοποιήθηκε, παρέχεται από το <https://gnome.orr.noaa.gov/goods>.
- ✓ Χρησιμοποιήθηκε, όπως συνίσταται από τους προγραμματιστές του προγράμματος, η λειτουργία της ελάχιστης αβεβαιότητας.
- ✓ Η πετρελαιοκηλίδα την χρονική στιγμή $t=0$ έχει μηδενική τάση.
- ✓ Χρησιμοποιήθηκε συντελεστής διάχυσης $D=15000 \text{ cm}^2$.

Για το ADIOS:

- ✓ Θεωρήθηκε το είδος του HFO Bunker C με $11,4^\circ \text{API}$.
- ✓ Η αλατότητα της θάλασσας θεωρήθηκε 39 g/kg .
- ✓ Χρησιμοποιήθηκε η τιμή 5 mg/L για τη στερεοπαροχή της θάλασσας.

Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα μοντελοποίησης

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης της πετρελαιοκηλίδας με την χρήση των προγραμμάτων GNOME και ADIOS. Η τροχιά που αναμένεται να ακολουθήσει η πετρελαιοκηλίδα εμφανίζεται ως ένα σύνολο από μικρές μαύρες κουκκίδες οι οποίες αντιπροσωπεύουν την βέλτιστη τροχιά.

6.1. Σενάριο 1

6.1.1. 1^η περίπτωση

6.1.1.1. Αποτελέσματα GNOME

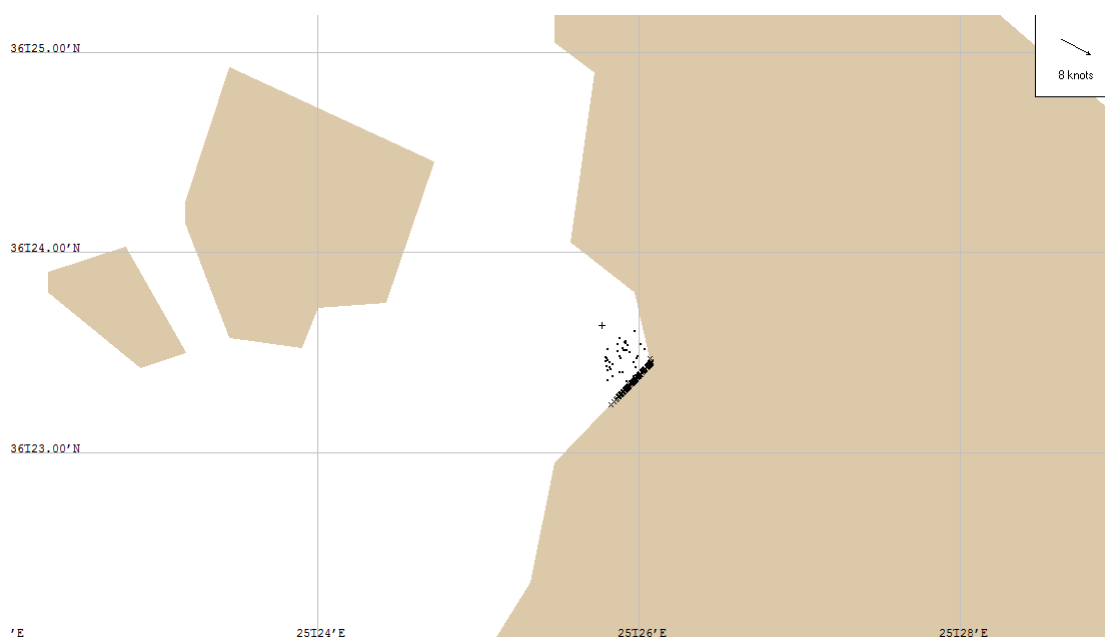
Αφού εισαχθούν τα δεδομένα όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 4.3, μετά την έναρξη του προγράμματος παρατηρείται η κίνηση της πετρελαιοκηλίδας σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές για τις ημερομηνίες 1/2/2017 – 2/2/2017. Η έναρξη της διαρροής θεωρείται στις 12:00 και η διάρκειά της 24 ώρες.

- ▼ **Model Settings**
 - Start time: February 01, 2017 12:00
 - Duration: 30 hours
 - Computational time step: 1.00 hr
 - ☐ Include the Minimum Regret solution (RED SPLOTS on screen)
 - ☐ Show Currents
 - ☒ Prevent Land Jumping
 - ☐ Run Backwards
- ▼ **Universal Movers**
 - ▷ Variable Wind
 - ▷ Random: "Diffusion"
 - ▷ Currents: "HYCOM 1-2-17 48hours.nc"
- ▼ **Maps**
 - ▷ Vector Map: SANTORINI.bna
- ▼ **Spills**
 - ▼ : Fuel Oil #6 : 280 m³
 - ☒ Active
 - Windage: 1% to 4%, Persistence: 0.25 hrs
 - ☒ Show Initial Positions
 - ▼ Release Time/Position
 - Start Time: February 01, 2017 12:00
 - End Time: February 02, 2017 12:00
 - Position: 36°23.63'N, 25°25.77'E
 - ▷ Splot Mass Balance (Best Estimate)

Εικόνα 6.1: Δεδομένα εισόδου 1^{ης} περίπτωσης του 1^{ου} σεναρίου για το GNOME.

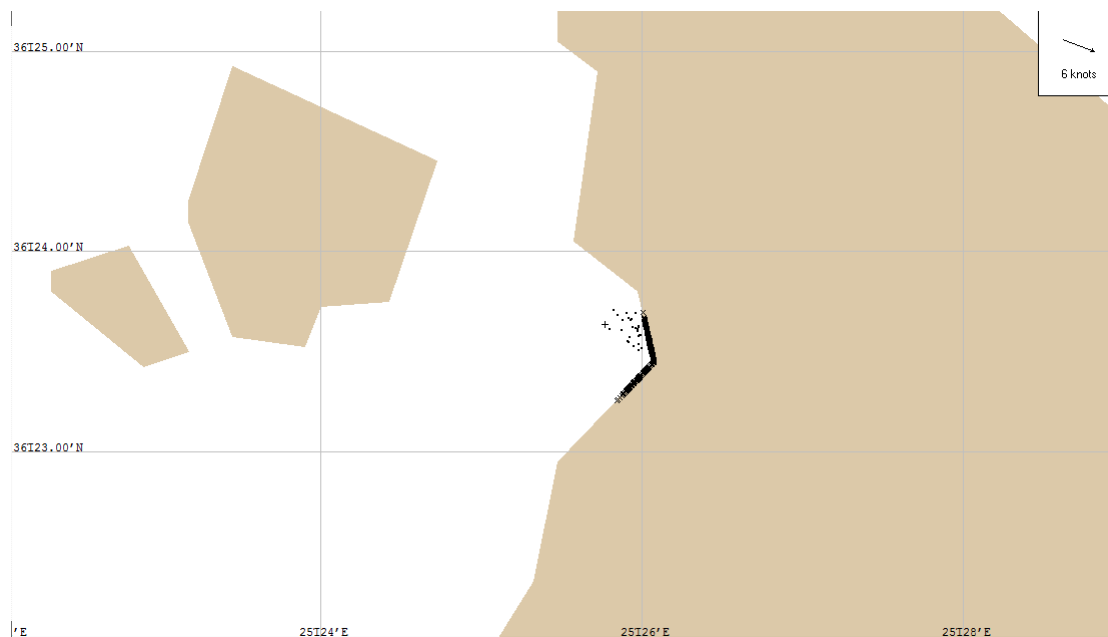
Στην συνέχεια ακολουθεί η κίνηση της πετρελαιοκηλίδας κάθε 6 ώρες:

- ✓ 18:00 : Τις πρώτες 6 ώρες θα διαρρεύσουν 59 m³ (20,9% της συνολικής ποσότητας πετρελαίου που βρίσκεται στις δεξαμενές) πετρελαίου HFO (Bunker C ή No 6) από το κουφάρι του πλοίου, όπου με τον άνεμο να έχει κατεύθυνση βορειοδυτική και ένταση 8 knots, το μεγαλύτερο μέρος του πετρελαίου αυτού, και πιο συγκεκριμένα 44 m³ (75,1% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα βρεθεί στις ακτές. Από την υπόλοιπη ποσότητα, 12 m³ (20,1% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα επιπλέουν στην θάλασσα και 3 m³ (4,8% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα έχουν εξατμισθεί και διασπαρθεί.



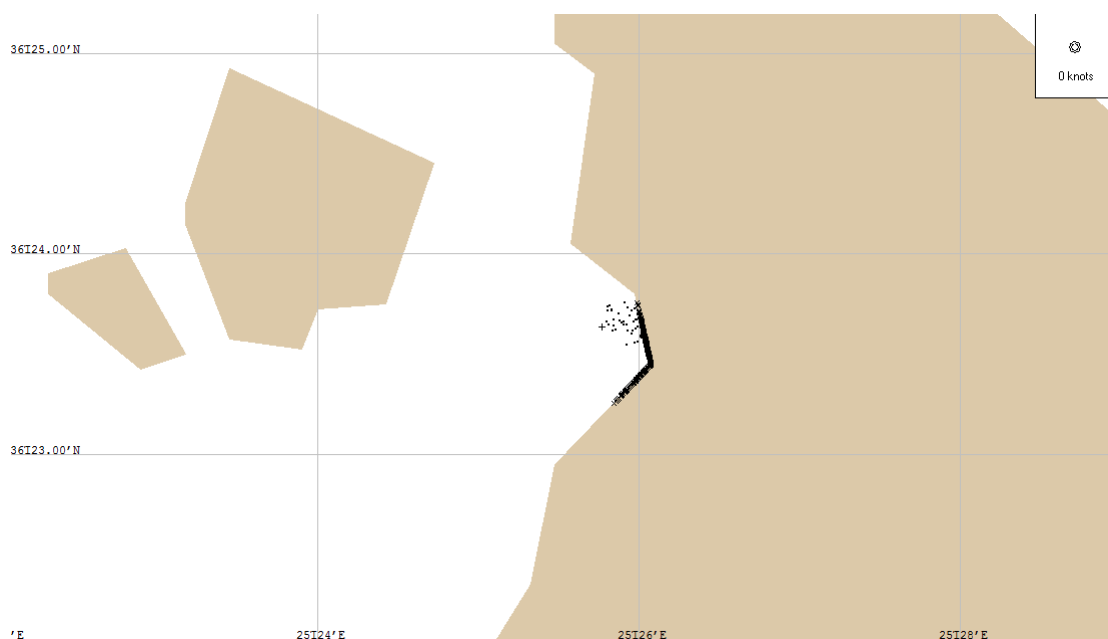
Εικόνα 6.2: Η πετρελαιοκηλίδα στις 18:00 ώρα 1/2/2017.

- ✓ 00:00 : Τις επόμενες 6 ώρες θα έχουν διαρρεύσει 128 m³ πετρελαίου (45,8% της συνολικής ποσότητας) με τον άνεμο να έχει κατεύθυνση βορειοδυτική και ένταση 6 knots. Στις ακτές θα οδηγηθούν 106 m³ πετρελαίου (82,8% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει), ενώ στην επιφάνεια της θάλασσας θα επιπλέουν 14 m³ (10,9% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει). Επίσης, 8 m³ (6,3% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα έχουν εξατμισθεί και διασπαρθεί.



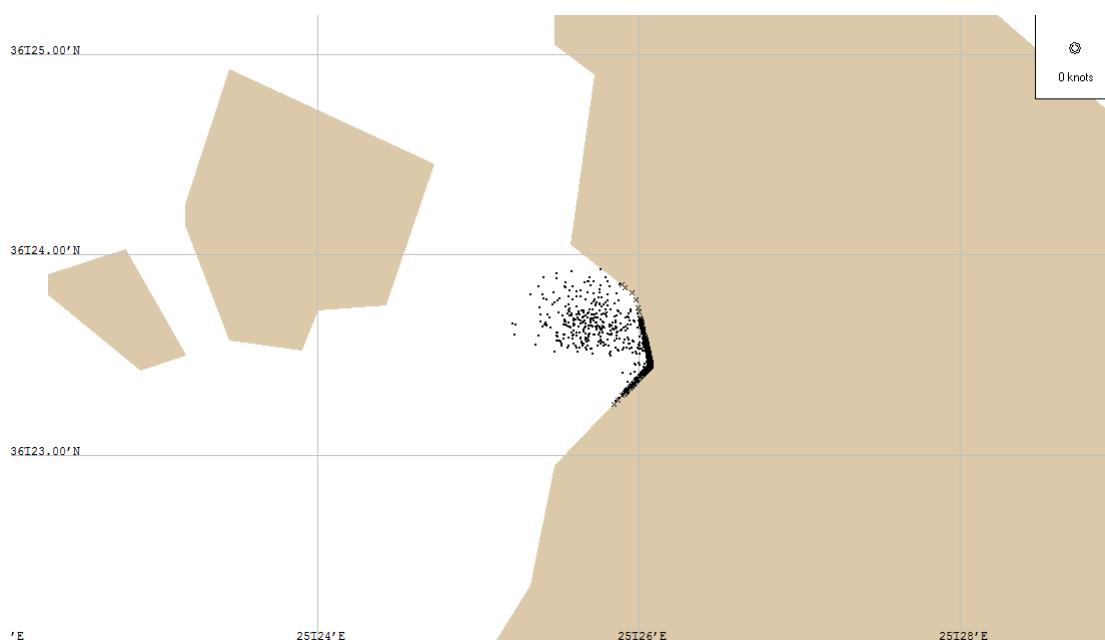
Εικόνα 6.3: Η πετρελαιοκηλίδα στις 00:00 ώρα 2/2/2017.

- ✓ **06:00** : Τις επόμενες 6 ώρες θα έχουν διαρρεύσει 198 m³ πετρελαίου (70,8% της συνολικής ποσότητας) με μηδενική ένταση ανέμου. Στις ακτές θα οδηγηθούν 160 m³ πετρελαίου (80,5% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει), ενώ στην επιφάνεια της θάλασσας θα επιπλέουν 23 m³ (11,4% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει). Επίσης, 16 m³ πετρελαίου (8,1% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα έχουν εξατμισθεί και διασπαρθεί.



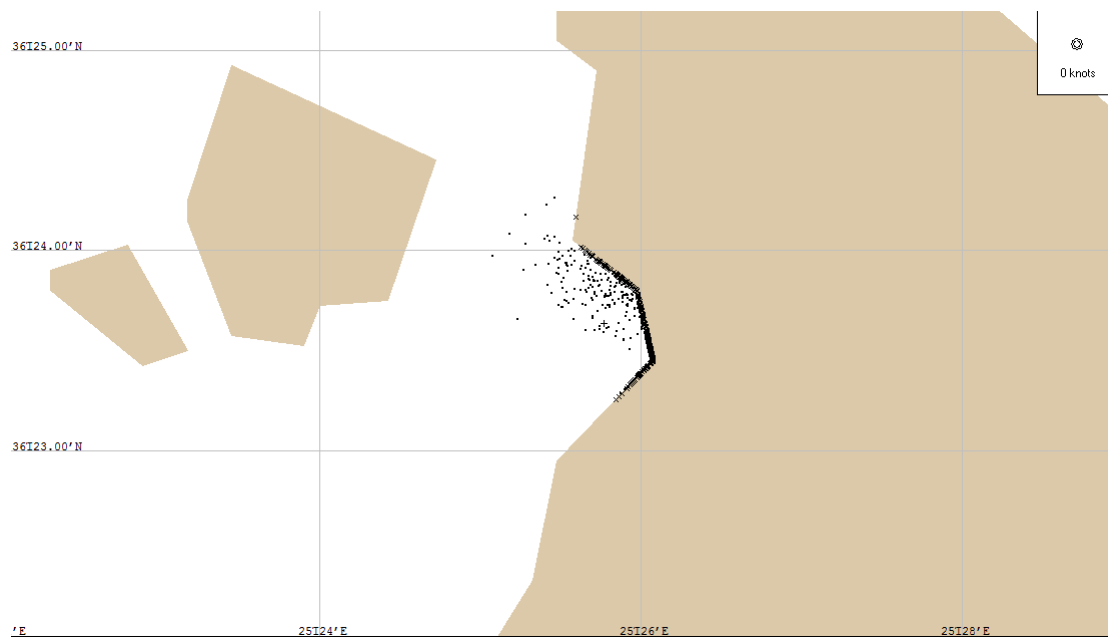
Εικόνα 6.4: Η πετρελαιοκηλίδα στις 06:00 ώρα 2/2/2017.

- ✓ 12:00 : Στην συνέχεια, 6 ώρες αργότερα θα έχουν διαρρεύσει 268 m^3 πετρελαίου (95,8% της συνολικής ποσότητας) με μηδενική ένταση ανέμου. Στις ακτές θα βρίσκονται 137 m^3 (51% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει), ενώ στην επιφάνεια της θάλασσας θα επιπλέουν 102 m^3 (38,2% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει). Επίσης, 29 m^3 πετρελαίου (10,8% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα έχουν εξατμισθεί και διασπαρθεί. Είναι εμφανές ότι στις ακτές θα βρίσκεται μικρότερη ποσότητα πετρελαίου σε σχέση με 6 ώρες πριν, αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στις 11:00 η κατεύθυνση του ανέμου είχε αλλάξει σε νοτιοανατολική με αποτέλεσμα να απομακρύνει ένα μέρος του πετρελαίου.



Εικόνα 6.5: Η πετρελαιοκηλίδα στις 12:00 ώρα 2/2/2017.

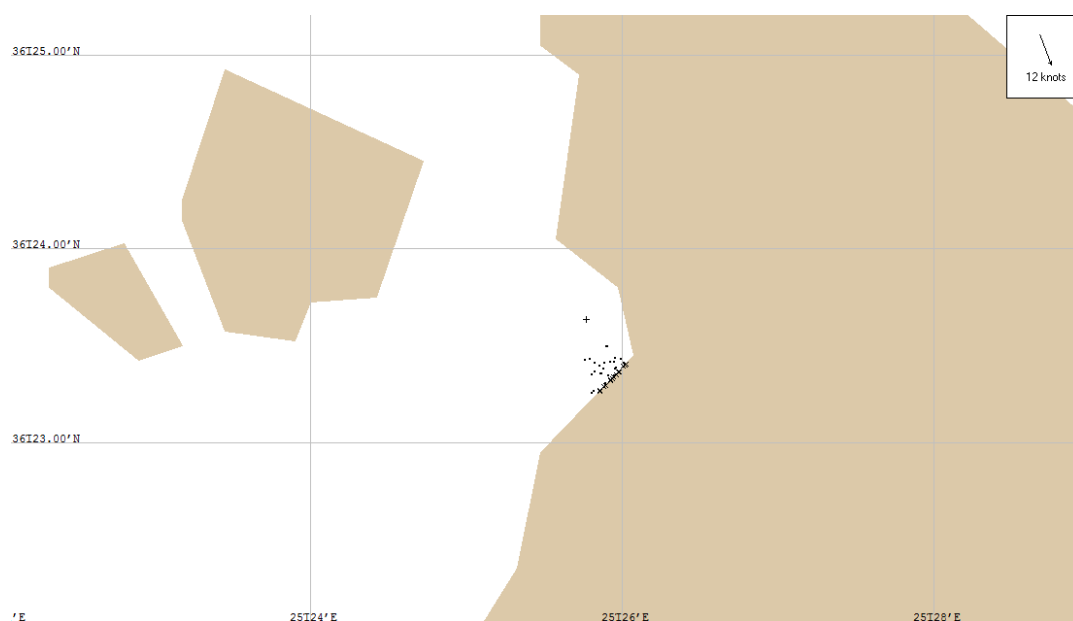
- ✓ 18:00 : Ακολούθως, 6 ώρες μετά θα έχουν διαρρεύσει 280 m^3 πετρελαίου (100% της συνολικής ποσότητας) με μηδενική ένταση ανέμου. Στις ακτές θα οδηγηθούν 178 m^3 (63,7% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει), ενώ στην επιφάνεια της θάλασσας θα επιπλέουν 62 m^3 (22,2% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει). Επίσης, 39 m^3 πετρελαίου (14,1% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα έχουν εξατμισθεί και διασπαρθεί.



Εικόνα 6.6: Η πετρελαιοκηλίδα στις 18:00 ώρα 2/2/2017.

- ✓ Επίσης, όπως φαίνεται στην παραπάνω Εικόνα 6.6, το πετρέλαιο 30 ώρες μετά την έναρξη της διαρροής θα έχει καλύψει την ακτή σε μήκος περίπου 1780 μέτρων.

Τέλος, για ευκολότερη σύγκριση της 1^{ης} περίπτωσης με την 2^η, εξετάσθηκε επιπλέον και η συμπεριφορά του διαρρέοντος πετρελαίου 2 ώρες μετά την έναρξη της διαρροής. Πιο συγκεκριμένα, θα έχει διαρρεύσει ποσότητα μόλις 12 m³ πετρελαίου (4,2% της συνολικής ποσότητας), όπου με τους ανέμους να έχουν βορειοδυτική κατεύθυνση και η έντασή τους να είναι 12 knots, 5 m³ αυτού θα βρίσκονται ήδη στις ακτές, ενώ η υπόλοιπη ποσότητα θα επιπλέει στην επιφάνεια της θάλασσας.



Εικόνα 6.7: Η πετρελαιοκηλίδα στις 14:00 ώρα 1/2/2017.

6.1.1.2. Αποτελέσματα ADIOS

Αφού εισαχθούν τα δεδομένα, όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 4.4, μετά την έναρξη του προγράμματος μελετώνται οι φυσικοχημικές αλλαγές που λαμβάνουν χώρα στην πετρελαιοκηλίδα σε σχέση με το χρόνο.

- ☐ **Oil Type**
 - BUNKER C FUEL OIL
 - Location = none listed
 - Synonyms = RESIDUAL/HEAVY FUEL OIL
 - Product Type = refined
 - API = 12.3
 - Pour Point = 15 deg C
 - Flash Point = 98 deg C
 - Density = 0.982 g/cc at 16 deg C
 - Viscosity = 1292.1 cSt at 16 deg C
 - Adhesion = unknown
 - Aromatics = 55 weight %
 - WARNING! Benzene graph for this product may be unreliable.
- ☐ **Emulsification**
 - Mousse begins to form when 100% of the oil has evaporated.
- ☐ **Wind and Wave Conditions**
 - Variable Wind
 - Winds Start = February 01, 12:00 hours
 - Winds Stop = February 02, 19:00 hours
- ☐ **Water Properties**
 - Temperature = 16 deg C
 - Salinity = 39 ppt
 - Sediment Load = 5 g/m3 (ocean)
 - Current = 0 mph
- ☐ **Release Information**
 - ☐ **Continuous Release**
 - Time of Release = February 01, 1200 hours
 - Amount Spilled = 280 cu m
 - Duration of Release = 24 hours

Εικόνα 6.8: Δεδομένα εισόδου 1^{ης} περίπτωσης του 1^{ου} σεναρίου για το ADIOS.

Αρχικά, στον Πίνακα 6.1 καταγράφονται αναλυτικά το ποσοστό του πετρελαίου που έχει διαρρεύσει, εξατμισθεί, διασπαρθεί και παραμένει στην επιφάνεια της θάλασσας σε σχέση με το χρόνο.

Ημερομηνία	Ώρα	Ποσότητα διαρροής (m ³)	Ποσοστό εξατμισμού (%)	Ποσοστό διασποράς (%)	Ποσοστό που παρέμεινε (%)
Feb 01	13:00	12	2	0	98
	14:00	23	3	0	97
	16:00	47	5	0	95
	18:00	70	6	0	94
	20:00	93	7	0	93
	22:00	117	7	0	93
Feb 02	0:00	140	8	0	92
	2:00	163	8	0	92
	4:00	187	8	0	92
	6:00	210	9	0	91
	8:00	233	9	0	91
	10:00	257	9	0	91
	12:00	280	9	0	91
	14:00	280	10	0	90
	16:00	280	11	0	89
	18:00	280	11	0	89

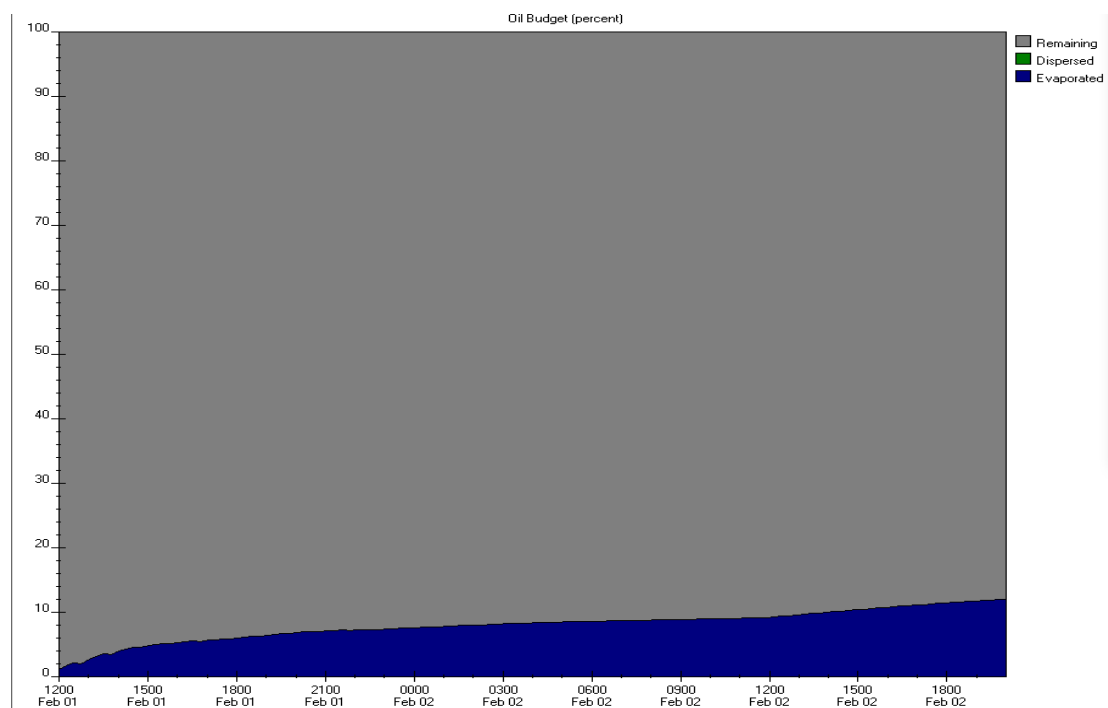
Πίνακας 6.1: Ποσοστιαία αποτελέσματα φυσικοχημικών διεργασιών σε σχέση με τον χρόνο.

Επίσης, παρακάτω καταγράφονται τα ποσοτικά αποτελέσματα των φυσικοχημικών διεργασιών.

Ημερομηνία	Ώρα	Ποσότητα διαρροής (m ³)	Ποσότητα που εξατμίστηκε (m ³)	Ποσότητα που διαρπάρθηκε (m ³)	Ποσότητα που παρέμεινε (m ³)
Feb 01	13:00	12	1	0	11
	14:00	23	1	0	22
	16:00	47	3	0	44
	18:00	70	4	0	66
	20:00	93	6	0	87
	22:00	117	9	0	108
Feb 02	0:00	140	11	0	129
	2:00	163	13	0	150
	4:00	187	16	0	171
	6:00	210	18	0	192
	8:00	233	20	0	213
	10:00	257	23	0	234
	12:00	280	26	0	254
	14:00	280	28	0	252
	16:00	280	30	0	250
	18:00	280	32	0	248

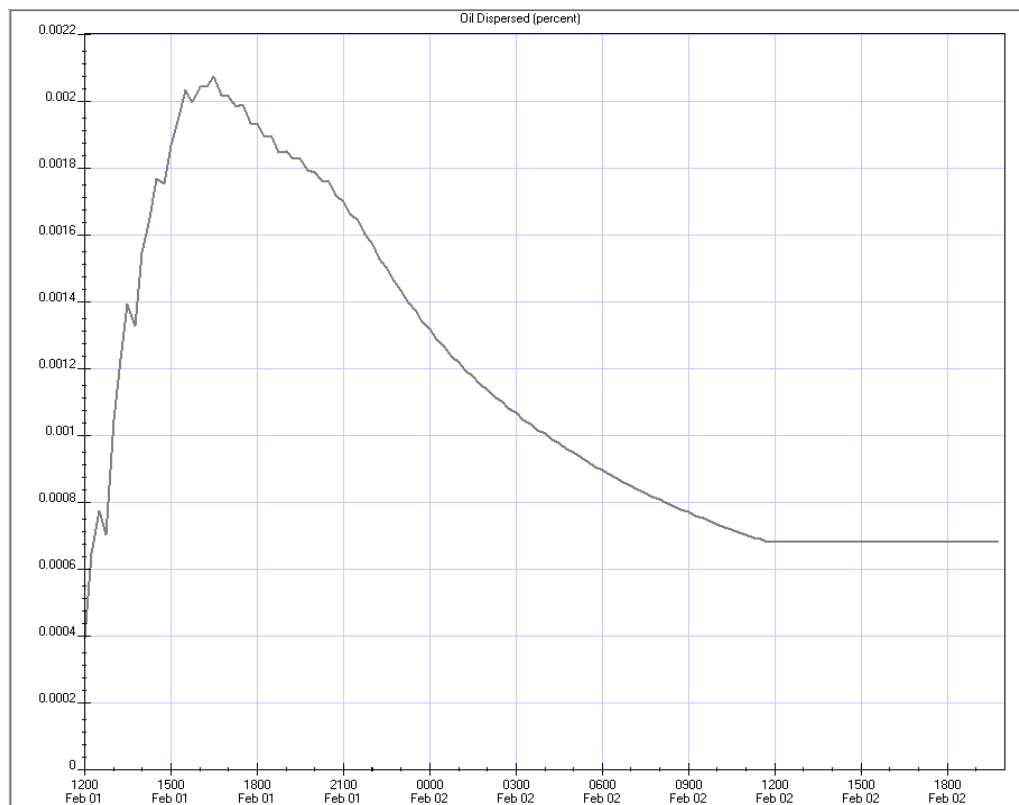
Πίνακας 6.2: Ποσοτικά αποτελέσματα φυσικοχημικών διεργασιών σε σχέση με τον χρόνο.

Ακολουθώς, παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα του προγράμματος ADIOS τα οποία αφορούν την εξατμισμό, την διασπορά και το πετρέλαιο που παρέμεινε, καθώς επίσης και την αλλαγή του ιξώδους και της πυκνότητας σε σχέση με τον χρόνο.

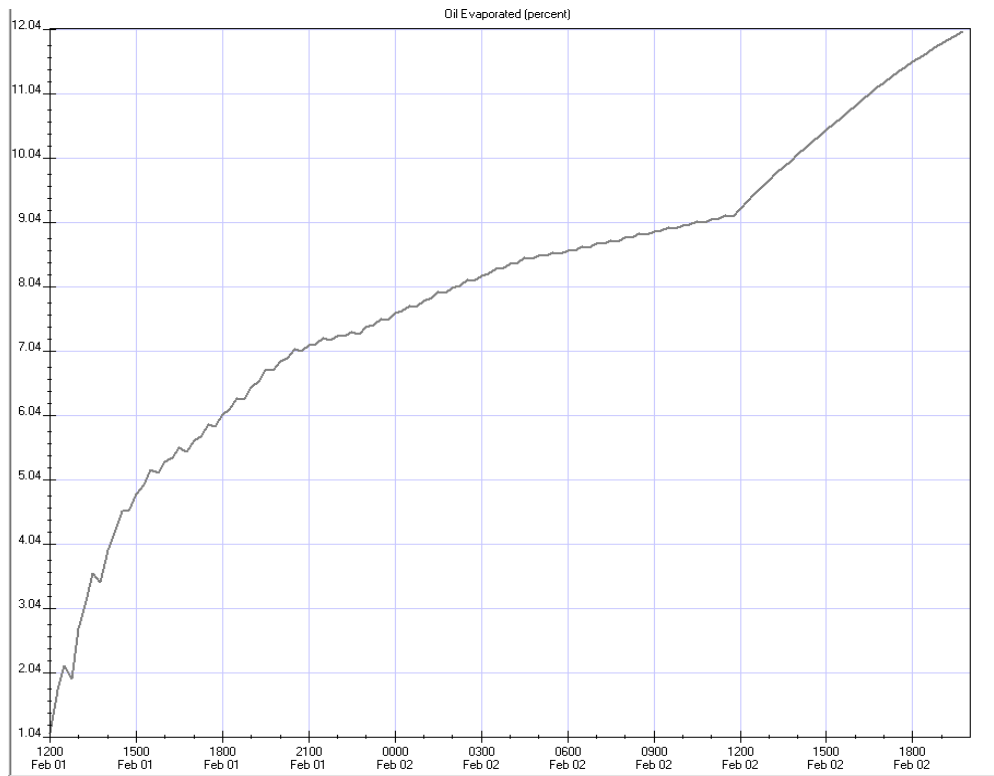


Γράφημα 6.1: Ποσοστά των φυσικοχημικών διεργασιών σε σχέση με τον χρόνο.

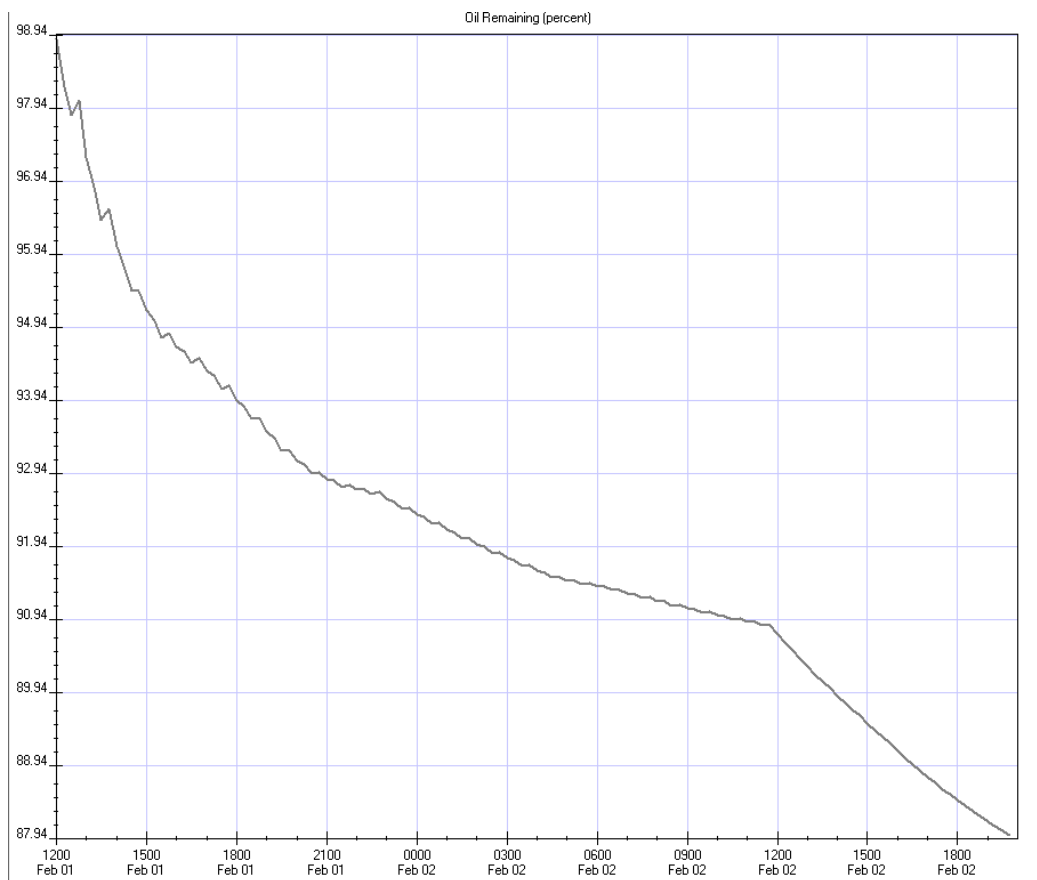
Το Γράφημα 6.1 παρουσιάζει συνοπτικά την ποσοστιαία εξάτμιση και διασπορά που υπόκειται το πετρέλαιο σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους, ενώ πιο λεπτομερώς οι ποσοστιαίες αυτές μεταβολές απεικονίζονται στα γραφήματα 6.2, 6.3 και 6.4. Σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο 2.3 αλλά και τους πίνακες 6.1 και 6.2, τα αποτελέσματα αυτά είναι τα προσδοκώμενα, εφόσον ο συγκεκριμένος τύπος πετρελαίου παρουσιάζει μικρό ποσοστό εξάτμισης και σχεδόν καθόλου διασπορά. Επίσης, παρατηρείται ότι στο γράφημα διακρίνονται μόνο το ποσοστό εξάτμισης και το αναπομείναν πετρέλαιο, το οποίο συμβαίνει επειδή η διασπορά είναι σχεδόν μηδενική.



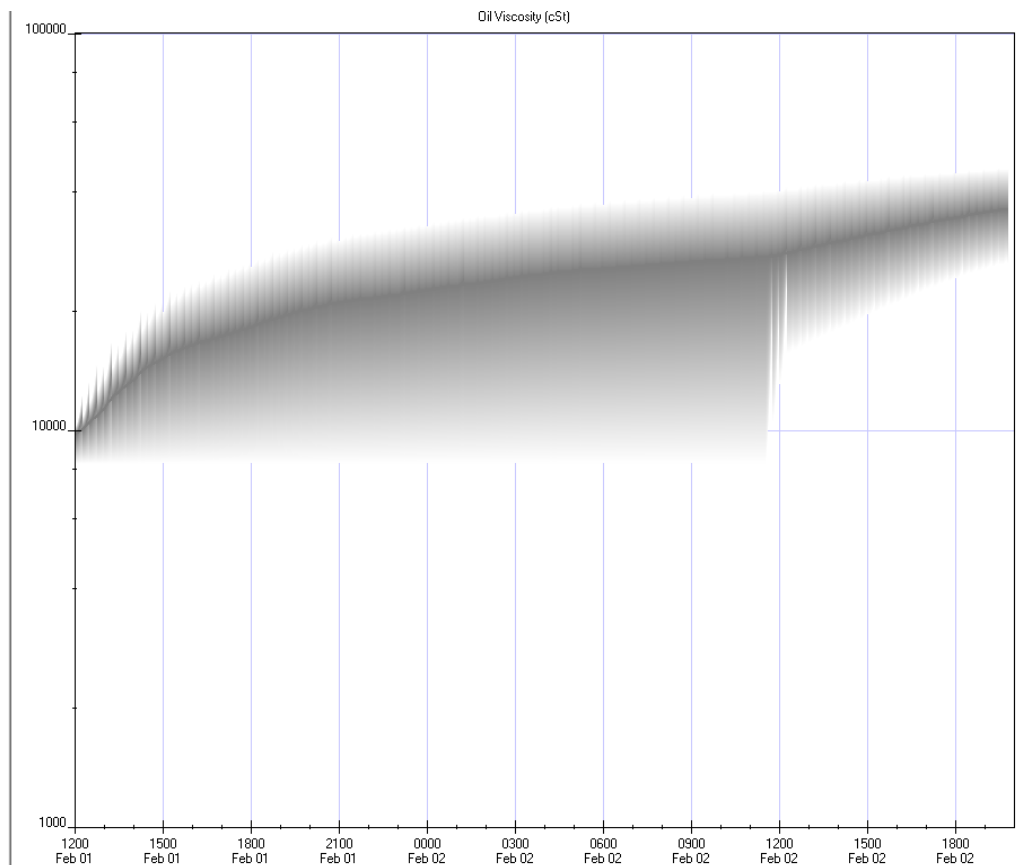
Γράφημα 6.2: Διασπορά του πετρελαίου σε σχέση με τον χρόνο (%).



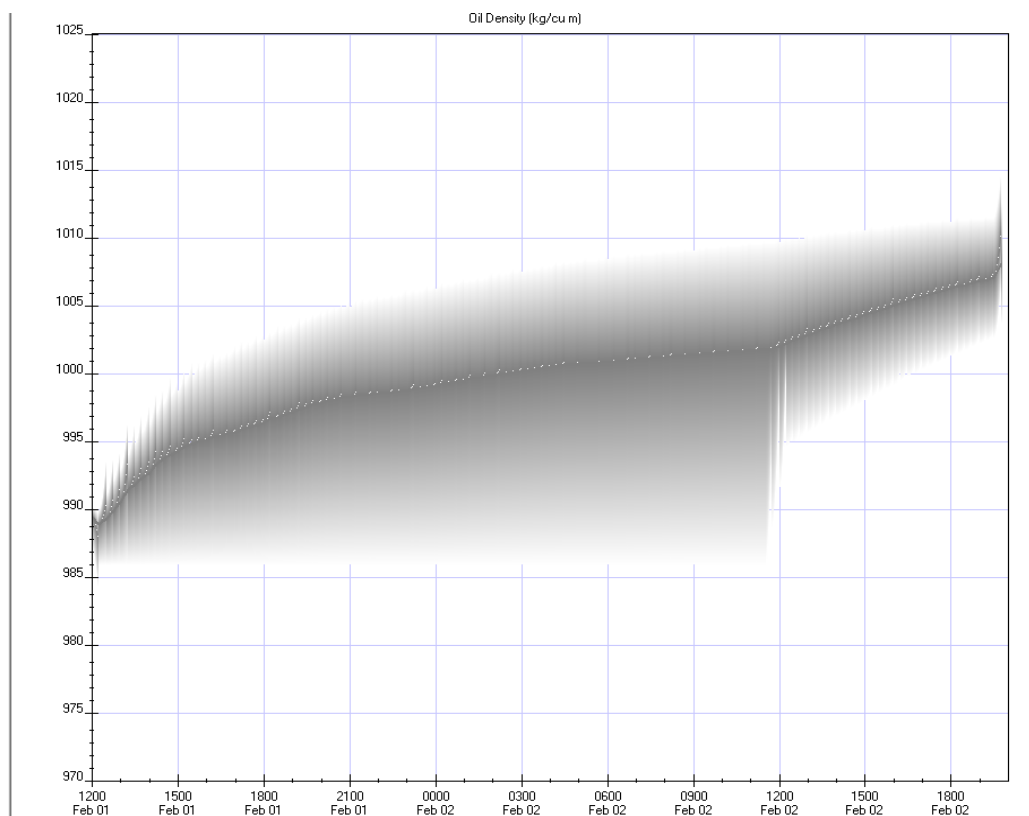
Γράφημα 6.3: Εξάτμιση του πετρελαίου σε σχέση με τον χρόνο (%).



Γράφημα 6.4: Εναπομείναν πετρέλαιο σε σχέση με τον χρόνο (%).



Γράφημα 6.5: Μεταβολή του ιξώδους σε σχέση με τον χρόνο (cSt).



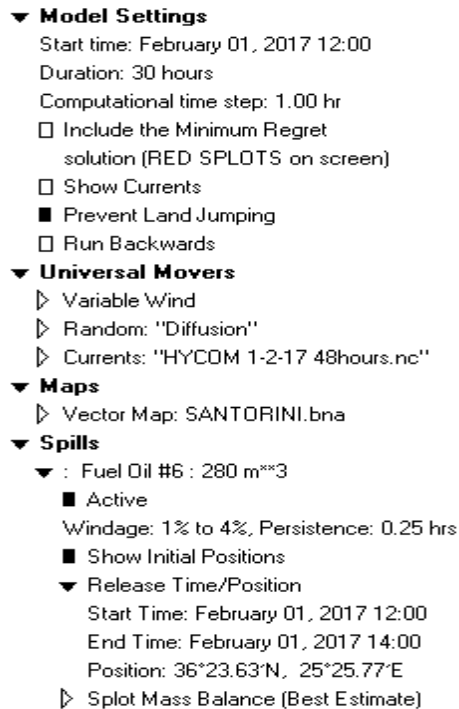
Γράφημα 6.6: Μεταβολή της πυκνότητας σε σχέση με τον χρόνο (kg/m³).

Στο Γράφημα 6.6, παρατηρείται επίσης ότι 30 ώρες μετά την έναρξη της διαρροής, το πετρέλαιο αναμένεται να έχει πυκνότητα αρκετά κοντά με αυτή του νερού, επομένως σε περίπτωση περεταίρω αύξησής της, είναι αρκετά πιθανό το πετρέλαιο να καθιζάνει.

6.1.2. 2η περίπτωση

6.1.2.1. Αποτελέσματα GNOME

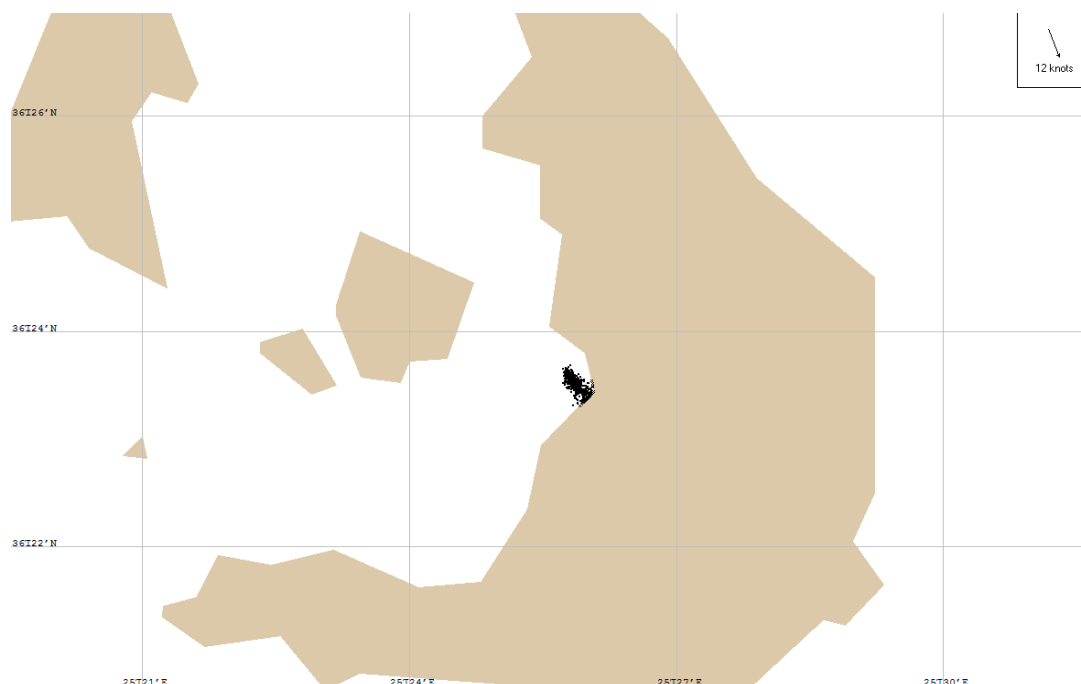
Για τη 2^η περίπτωση η διαρροή του πετρελαίου από το κουφάρι του πλοίου διαρκεί 2 ώρες. Η διαρροή, όπως σε κάθε σενάριο θεωρείται ότι ξεκινάει στις 12:00.



Εικόνα 6.9: Δεδομένα εισόδου 2^{ης} περίπτωσης του 1^{ου} σεναρίου για το GNOME.

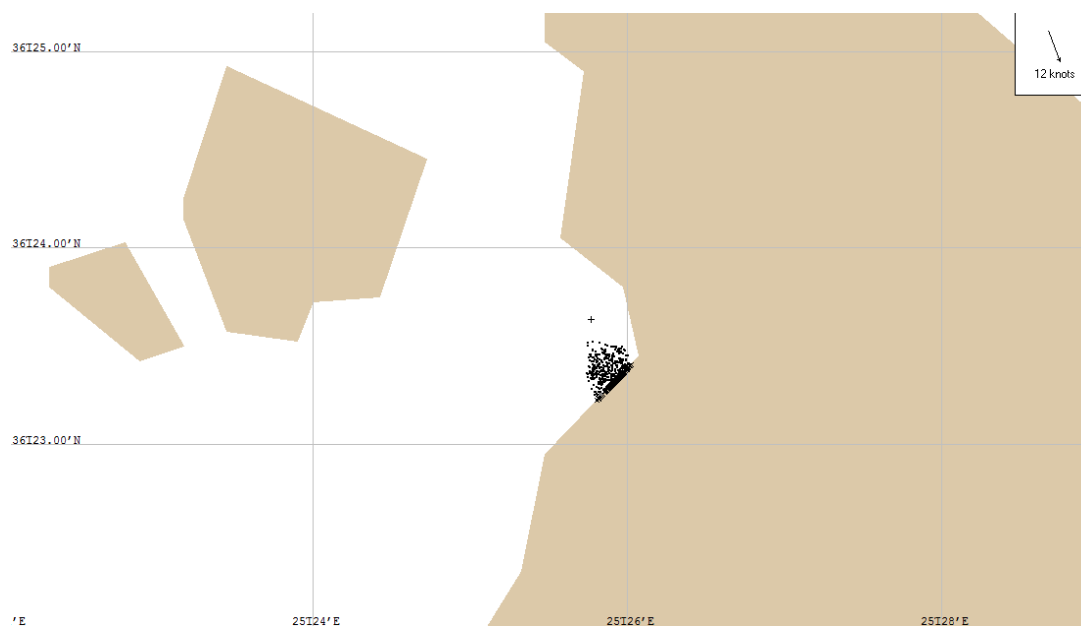
Παρακάτω, μελετάται η κίνηση της πετρελαιοκηλίδας για συγκεκριμένες χρονικές στιγμές:

- ✓ 13:00 : Την πρώτη ώρα θα διαρρεύσουν 140 m³ (50% της συνολικής ποσότητας πετρελαίου που βρίσκεται στις δεξαμενές) πετρελαίου HFO (Bunker C ή No 6) από το κουφάρι του πλοίου, όπου με τον άνεμο να έχει κατεύθυνση βόρειο - βορειοδυτική και ένταση 12 knots, ένα μέρος του πετρελαίου αυτού, και πιο συγκεκριμένα 18 m³ (12% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα βρεθεί στις ακτές. Από το υπόλοιπο, 120 m³ (86,6% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα επιπλέει στην θάλασσα και 2m³ (1,4% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα έχει εξατμισθεί και διασπαρθεί.



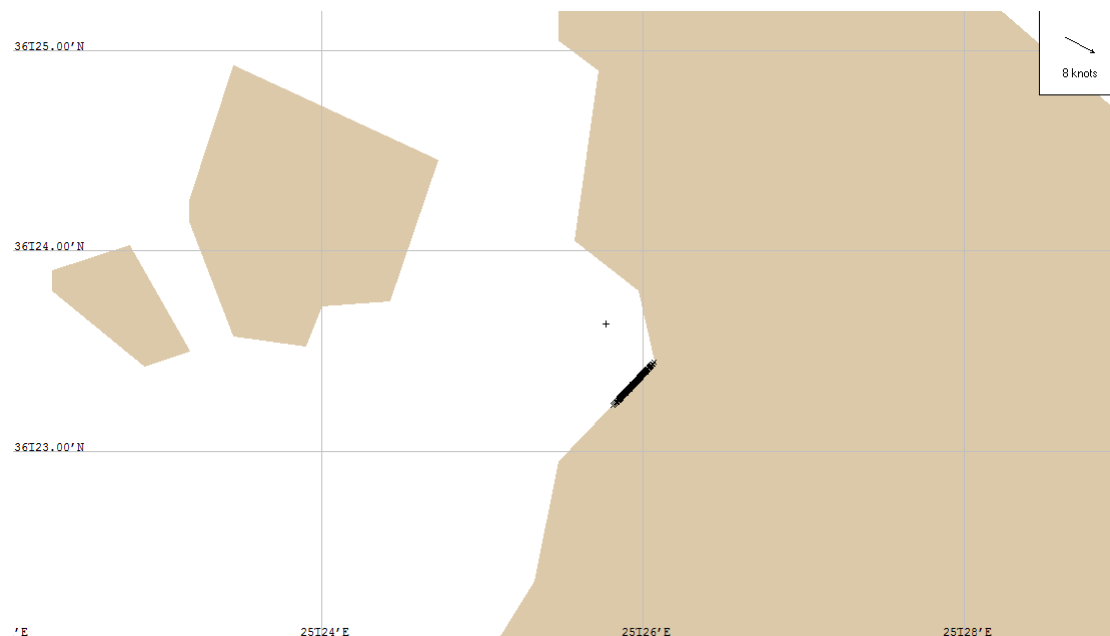
Εικόνα 6.10: Η πετρελαιοκηλίδα στις 13:00 ώρα 1/2/2017.

- ✓ **14:00** : Τις επόμενες 2 ώρες θα έχουν διαρρεύσει 280 m³ (100% της συνολικής ποσότητας πετρελαίου που βρίσκεται στις δεξαμενές) πετρελαίου HFO από το κουφάρι του πλοίου, όπου με τον άνεμο να έχει κατεύθυνση βόρειο - βορειοδυτική και ένταση 12 knots, ένα μέρος του πετρελαίου αυτού, και πιο συγκεκριμένα 160 m³ (57,3% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα βρεθεί στις ακτές. Από την υπόλοιπη ποσότητα, 115 m³ (40,9% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα επιπλέει στην θάλασσα και 5 m³ (1,8% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα έχει εξατμισθεί και διασπαρθεί.



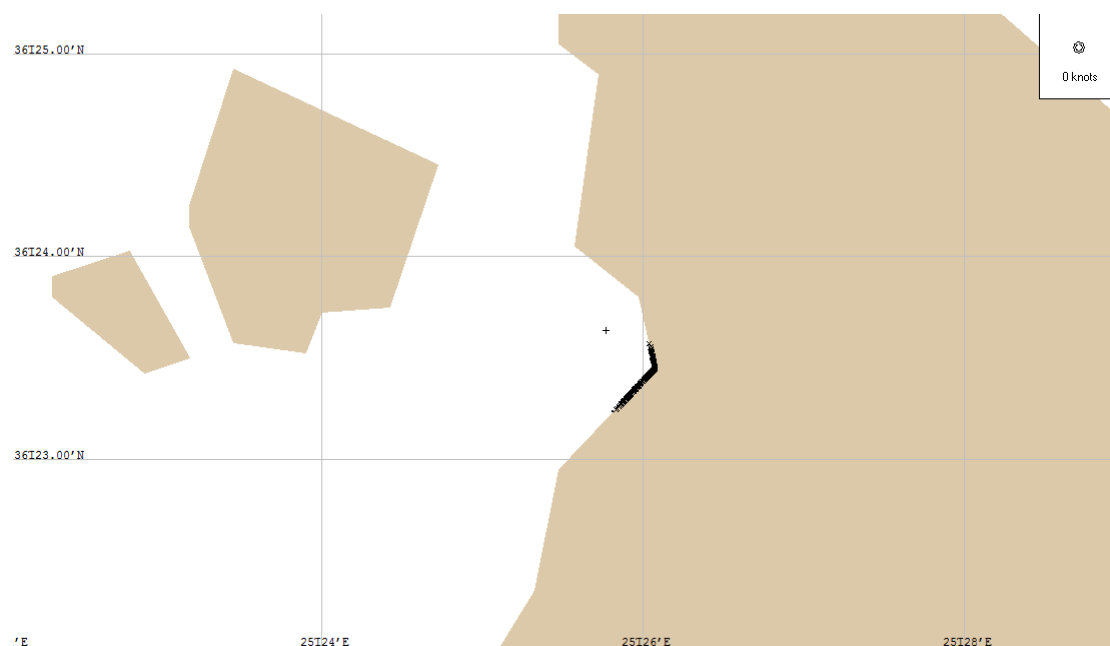
Εικόνα 6.11: Η πετρελαιοκηλίδα στις 14:00 ώρα 1/2/2017.

- ✓ 18:00 : Στην συνέχεια, 4 ώρες αργότερα, με τον άνεμο να έχει κατεύθυνση βορειοδυτική και ένταση 8 knots, σχεδόν όλη η ποσότητα αυτού θα βρεθεί στις ακτές και πιο συγκεκριμένα 265 m³ (94,6%). Επιπλέον, η εναπομείνουσα ποσότητα (15 m³), θα έχει εξατμισθεί και διασπαρθεί.



Εικόνα 6.12: Η πετρελαιοκηλίδα στις 14:00 ώρα 1/2/2017.

- ✓ Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι 30 ώρες μετά την έναρξη της διαρροής το πετρέλαιο θα έχει καλύψει την ακτή σε μήκος περίπου 800 μέτρων.



Εικόνα 6.13: Η πετρελαιοκηλίδα στις 18:00 ώρα 2/2/2017.

6.1.2.2. Αποτελέσματα ADIOS

Αφού εισαχθούν τα δεδομένα, όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 4.4, μετά την έναρξη του προγράμματος μελετώνται οι φυσικοχημικές αλλαγές που λαμβάνουν χώρα στην πετρελαιοκηλίδα σε σχέση με το χρόνο.

- ☐ **Oil Type**
 - BUNKER C FUEL OIL
 - Location = none listed
 - Synonyms = RESIDUAL/HEAVY FUEL OIL
 - Product Type = refined
 - API = 12.3
 - Pour Point = 15 deg C
 - Flash Point = 98 deg C
 - Density = 0.982 g/cc at 16 deg C
 - Viscosity = 1292.1 cSt at 16 deg C
 - Adhesion = unknown
 - Aromatics = 55 weight %
 - WARNING! Benzene graph for this product may be unreliable.
- ☐ **Emulsification**
 - Mousse begins to form when 100% of the oil has evaporated.
- ☐ **Wind and Wave Conditions**
 - Variable Wind
 - Winds Start = February 01, 12:00 hours
 - Winds Stop = February 02, 19:00 hours
- ☐ **Water Properties**
 - Temperature = 16 deg C
 - Salinity = 39 ppt
 - Sediment Load = 5 g/m3 (ocean)
 - Current = 0 mph
- ☐ **Release Information**
 - ☐ **Continuous Release**
 - Time of Release = February 01, 1200 hours
 - Amount Spilled = 280 cu m
 - Duration of Release = 2 hours

Εικόνα 6.14: Δεδομένα εισόδου 2^{ης} περίπτωσης του 1^{ου} σεναρίου για το ADIOS.

Αρχικά, στον Πίνακα 6.3 καταγράφονται αναλυτικά το ποσοστό του πετρελαίου που έχει διαρρεύσει, εξατμισθεί, διασπαρθεί και παραμένει στην επιφάνεια της θάλασσας σε σχέση με το χρόνο.

Ημερομηνία	Ώρα	Ποσότητα διαρροής (m ³)	Ποσοστό εξατμισμού (%)	Ποσοστό διασποράς (%)	Ποσοστό που παρέμεινε (%)
Feb 01	13:00	140	0	0	100
	14:00	280	1	0	99
	16:00	280	3	0	97
	18:00	280	4	0	96
	20:00	280	6	0	94
	22:00	280	7	0	93
Feb 02	0:00	280	8	0	92
	6:00	280	10	0	90
	12:00	280	12	0	88
	18:00	280	13	0	87

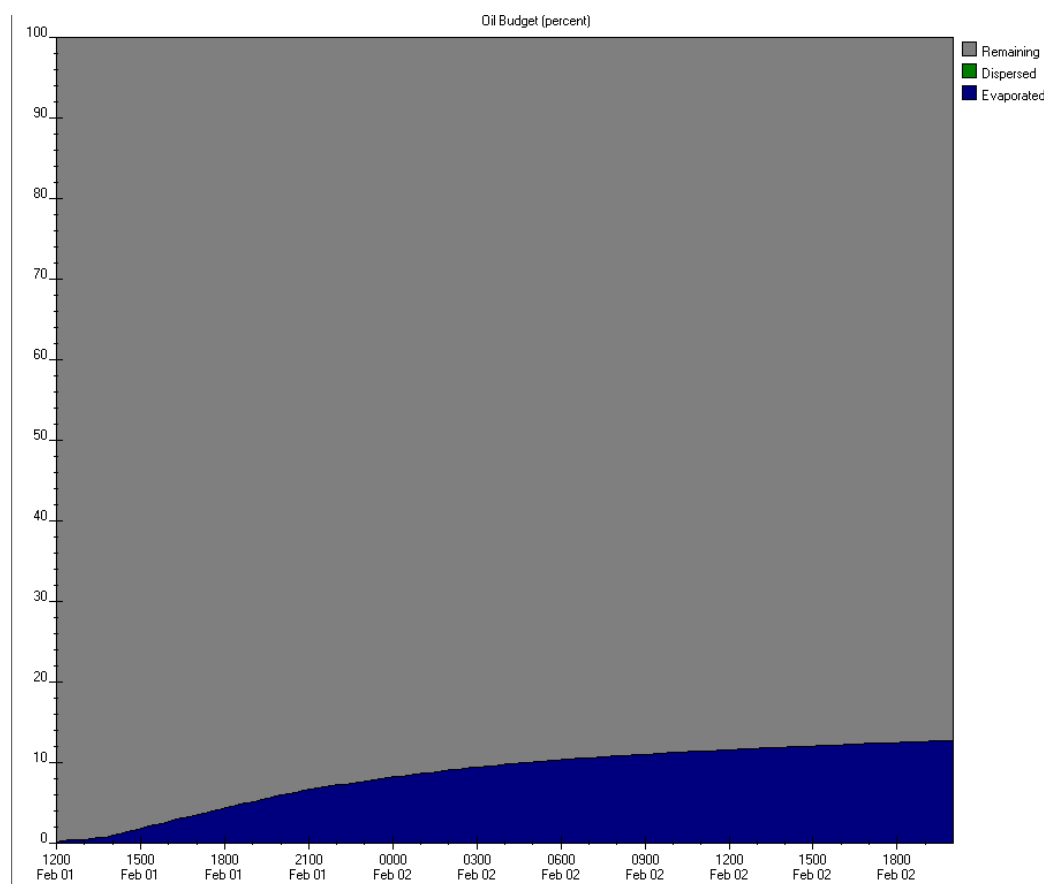
Πίνακας 6.3: Ποσοστιαία αποτελέσματα φυσικοχημικών διεργασιών σε σχέση με τον χρόνο.

Επίσης, στον παρακάτω πίνακα καταγράφονται τα ποσοτικά αποτελέσματα των φυσικοχημικών διεργασιών.

Ημερομηνία	Ώρα	Ποσότητα διαρροής (m ³)	Ποσότητα που εξατμίστηκε (m ³)	Ποσότητα που διαρπάρθηκε (m ³)	Ποσότητα που παρέμεινε (m ³)
Feb 01	13:00	140	1	0	139
	14:00	280	2	0	278
	16:00	280	7	0	273
	18:00	280	12	0	268
	20:00	280	16	0	264
	22:00	280	20	0	260
Feb 02	0:00	280	23	0	257
	6:00	280	29	0	251
	12:00	280	33	0	247
	18:00	280	35	0	245

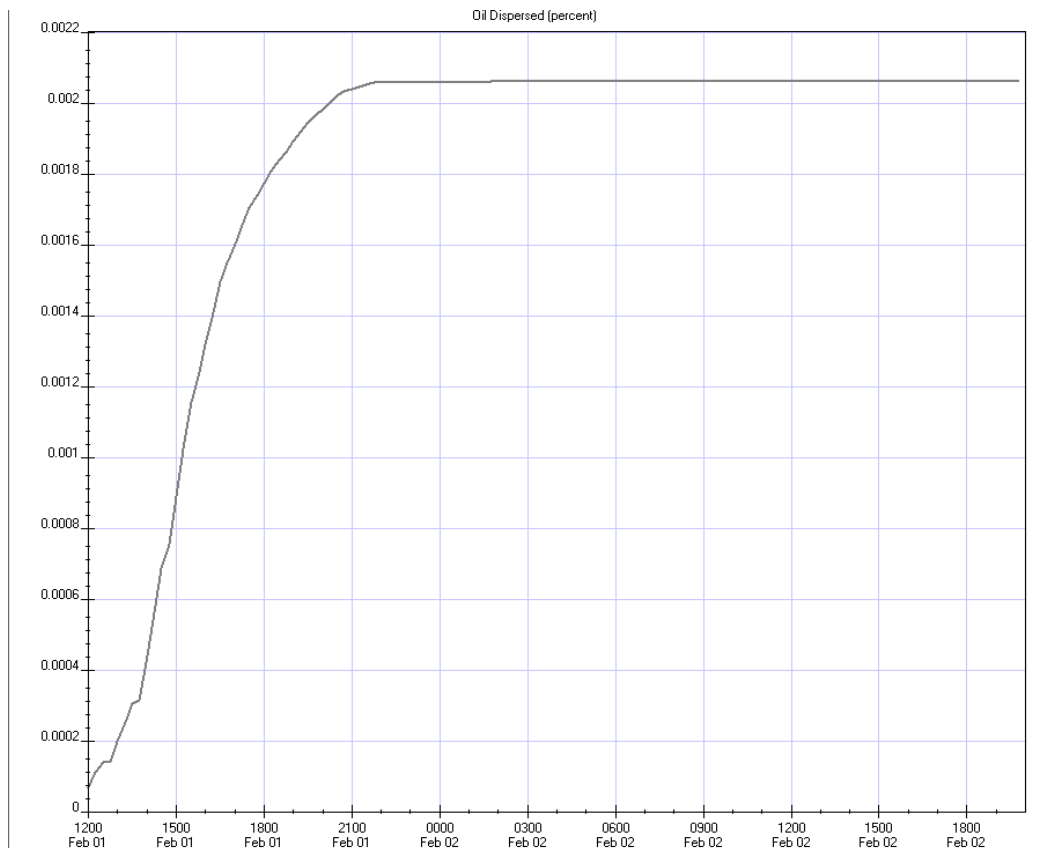
Πίνακας 6.4: Ποσοτικά αποτελέσματα φυσικοχημικών διεργασιών σε σχέση με τον χρόνο.

Ακολούθως, παρουσιάζονται γραφικώς τα αποτελέσματα του προγράμματος ADIOS τα οποία αφορούν την εξάτμιση, την διασπορά και το πετρέλαιο που παρέμεινε, καθώς επίσης και την αλλαγή του ιξώδους και της πυκνότητας σε σχέση με τον χρόνο.

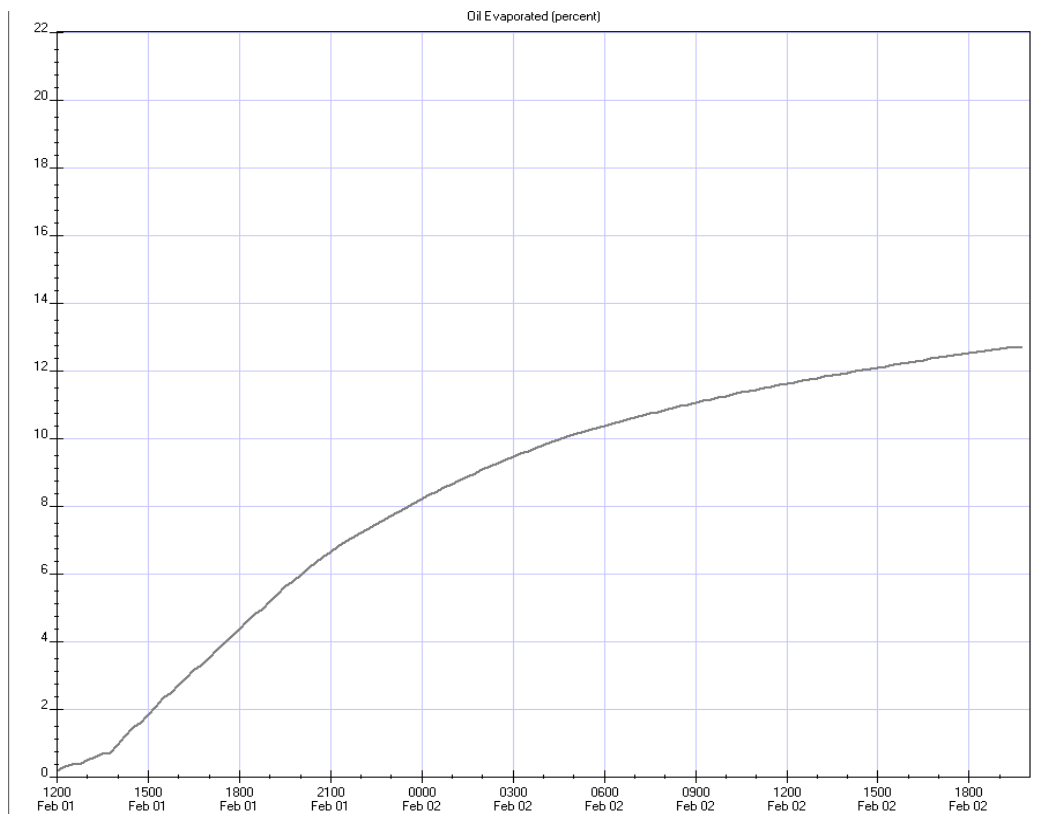


Γράφημα 6.7: Ποσοστά των φυσικοχημικών διεργασιών σε σχέση με τον χρόνο.

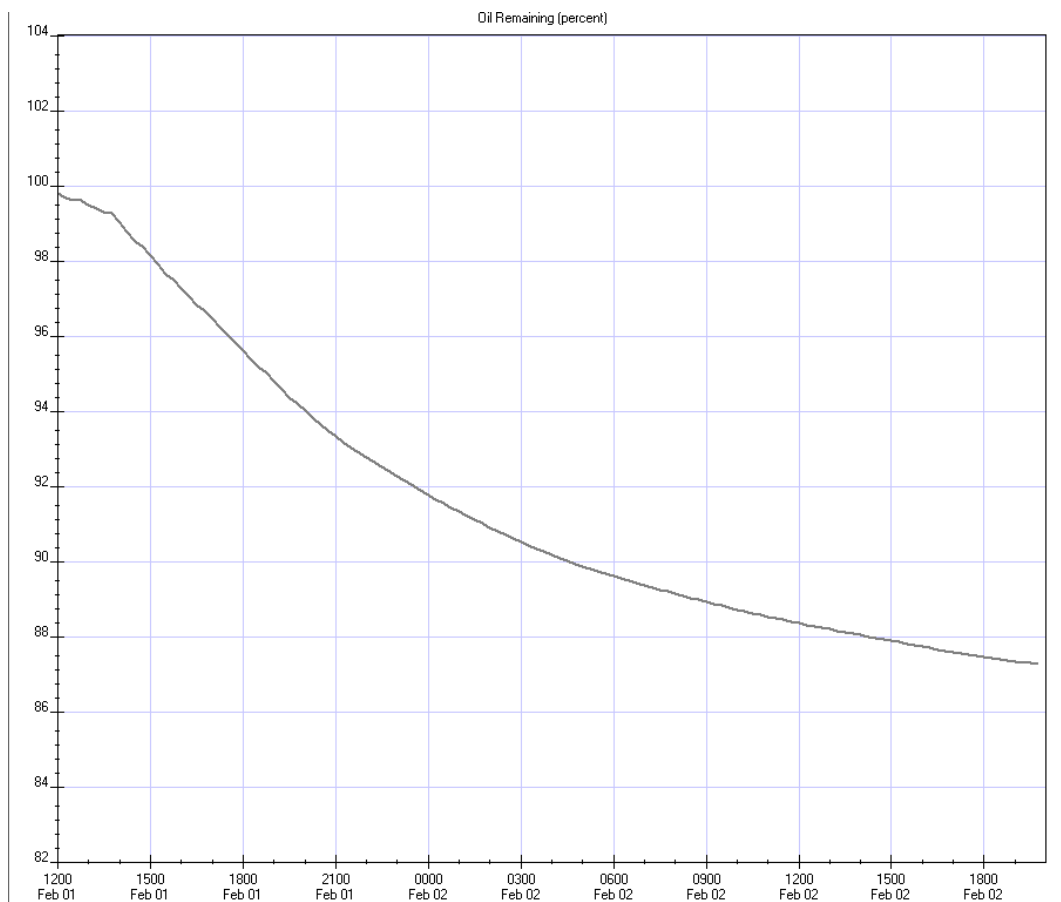
Όπως και για την πρώτη περίπτωση, το Γράφημα 6.7 αποτελεί μια συνοπτική απεικόνιση των γραφημάτων 6.8, 6.9 και 6.10. Τα γραφήματα αυτά σε σχέση με τα αντίστοιχα της πρώτης περίπτωσης (Γράφημα 6.1, 6.2, 6.3 και 6.4), παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές. Παρόλα αυτά, εάν εξετασθούν λεπτομερώς, τα αποτελέσματά τους είναι παρόμοια, καθώς και στις 2 περιπτώσεις το ποσοστό εξάτμισης είναι πολύ μικρό και η διασπορά σχεδόν μηδενική.



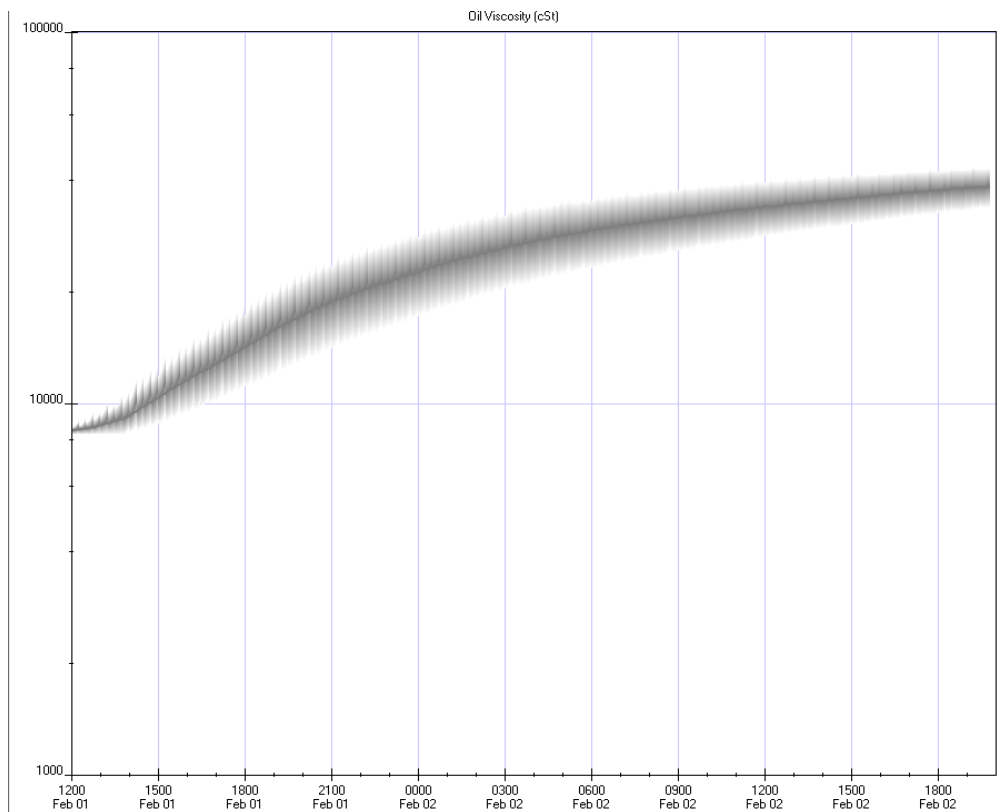
Γράφημα 6.8: Διασπορά του πετρελαίου σε σχέση με τον χρόνο (%).



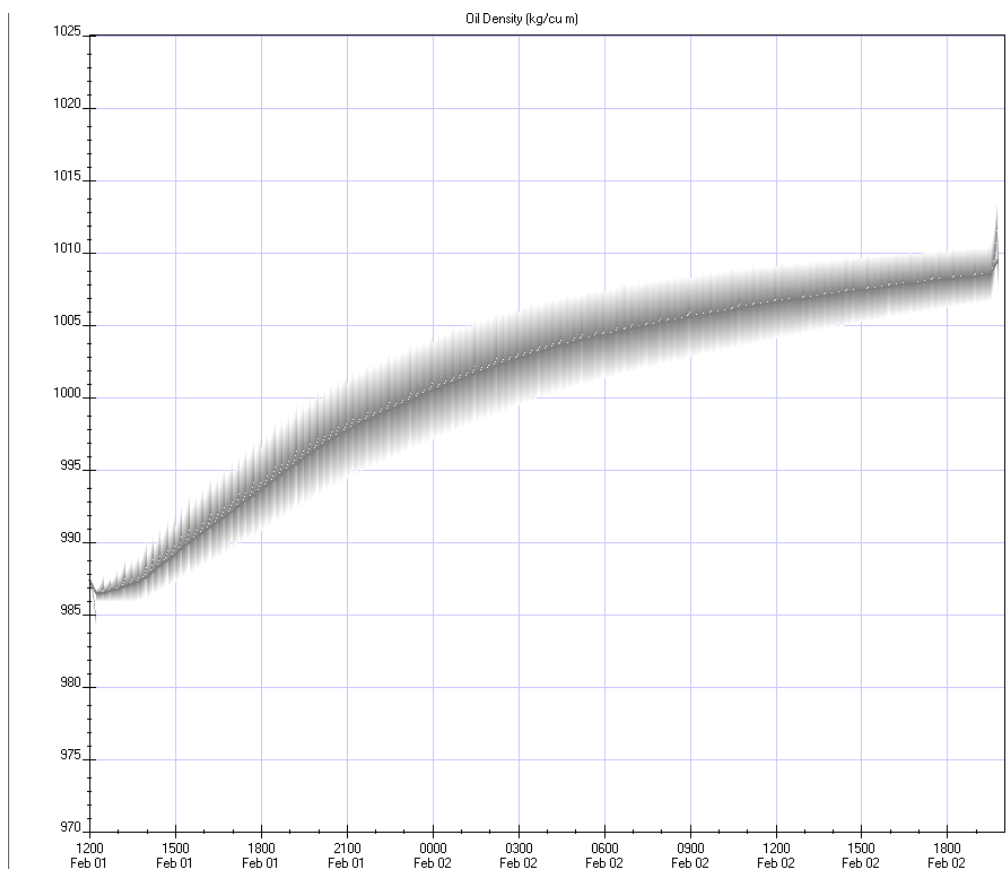
Γράφημα 6.9: Εξάτμιση του πετρελαίου σε σχέση με τον χρόνο (%).



Γράφημα 6.10: Εναπομείναν πετρέλαιο σε σχέση με τον χρόνο (%).



Γράφημα 6.11: Μεταβολή του ιξώδους σε σχέση με τον χρόνο (cSt).



Γράφημα 6.12: Μεταβολή της πυκνότητας σε σχέση με τον χρόνο (kg/m³).

Επιπλέον, όπως και στην πρώτη περίπτωση, το πετρέλαιο παρουσιάζει μια αυξητική τάση στην πυκνότητα του, όπου 30 ώρες μετά την έναρξη της διαρροής, η τιμή του είναι περίπου 1010 kg/m³.

6.2. Σενάριο 2

6.2.1. 1^η περίπτωση

6.2.1.1. Αποτελέσματα GNOME

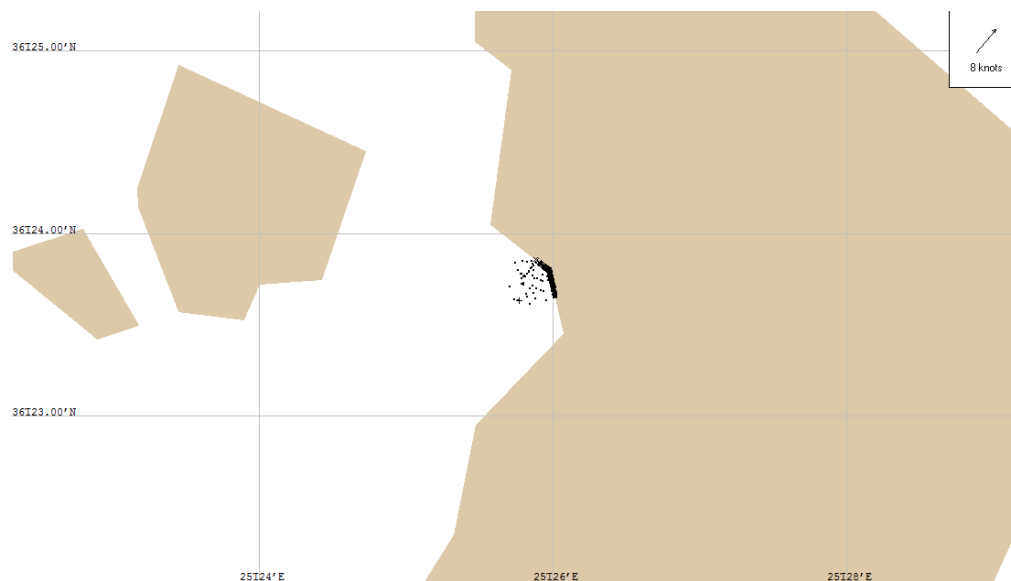
Αρχικά, εφόσον γίνει εισαγωγή των δεδομένων όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 4.3, παρατηρείται η κίνηση της πετρελαιοκηλίδας σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές για τις ημερομηνίες 3/2/2017 – 4/2/2017.



Εικόνα 6.15: Δεδομένα εισόδου 1^{ης} περίπτωσης του 2^{ου} σεναρίου για το GNOME.

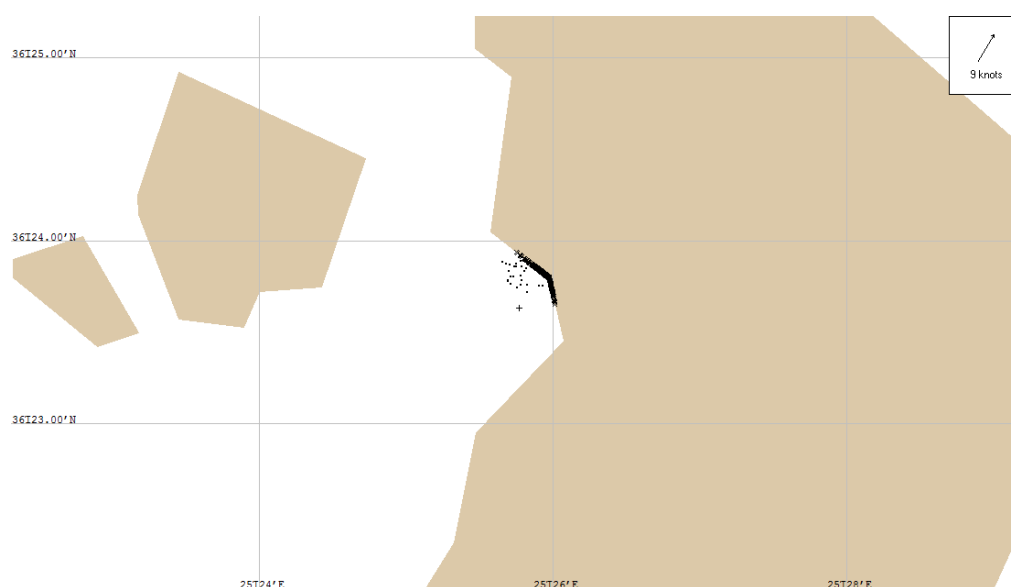
Παρακάτω, περιγράφεται η συμπεριφορά του πετρελαίου κάθε 6 ώρες:

- ✓ 18:00 : Τις πρώτες 6 ώρες θα έχουν διαρρεύσει 59 m³ (20,9% της συνολικής ποσότητας πετρελαίου που βρίσκεται στις δεξαμενές) πετρελαίου HFO από το κουφάρι του πλοίου, όπου με τον άνεμο να έχει κατεύθυνση νοτιοδυτική και ένταση 8 knots, το μεγαλύτερο μέρος αυτού, και πιο συγκεκριμένα 42 m³ (72,2% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα βρεθεί στις ακτές. Από το υπόλοιπο, 13 m³ (23% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα επιπλέει στην θάλασσα και 3 m³ (4,8% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα έχει εξατμισθεί και διασπαρθεί.



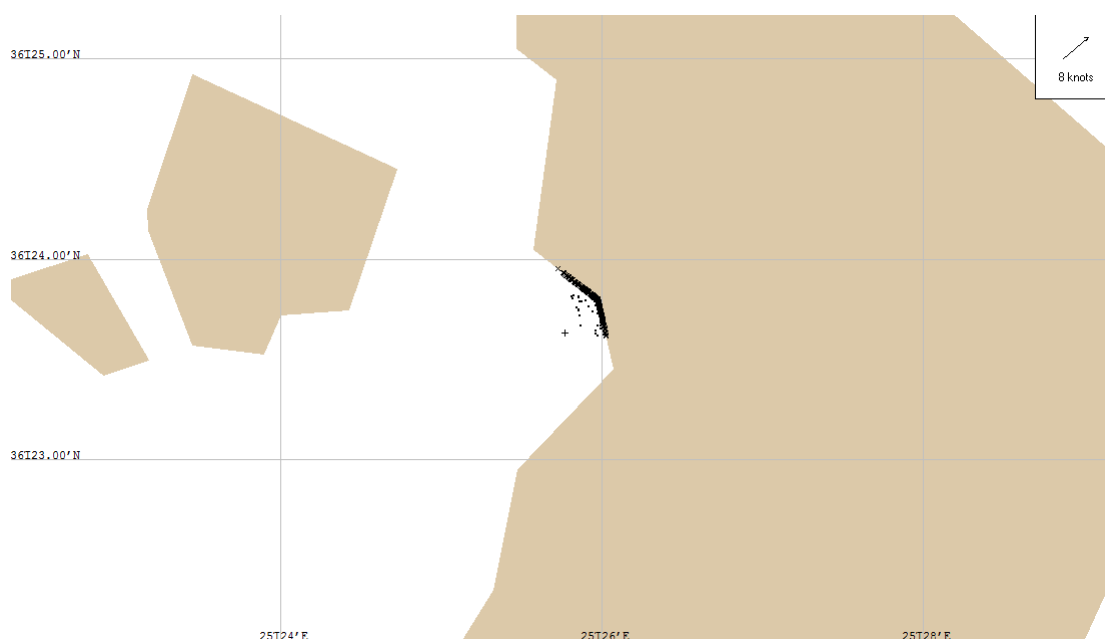
Εικόνα 6.16: Η πετρελαιοκηλίδα στις 18:00 ώρα 3/2/2017.

- ✓ 00:00 : Τις επόμενες 6 ώρες θα έχουν διαρρεύσει 128 m³ πετρελαίου (45,8% της συνολικής ποσότητας) με τον άνεμο να έχει κατεύθυνση νοτιοδυτική και ένταση 9 knots. Στις ακτές θα οδηγηθούν 109 m³ (84,7% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει), ενώ στην επιφάνεια της θάλασσας θα επιπλέουν 11 m³ (9% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει). Επίσης, 8 m³ πετρελαίου (6,3% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα έχουν εξατμισθεί και διασπαρθεί.



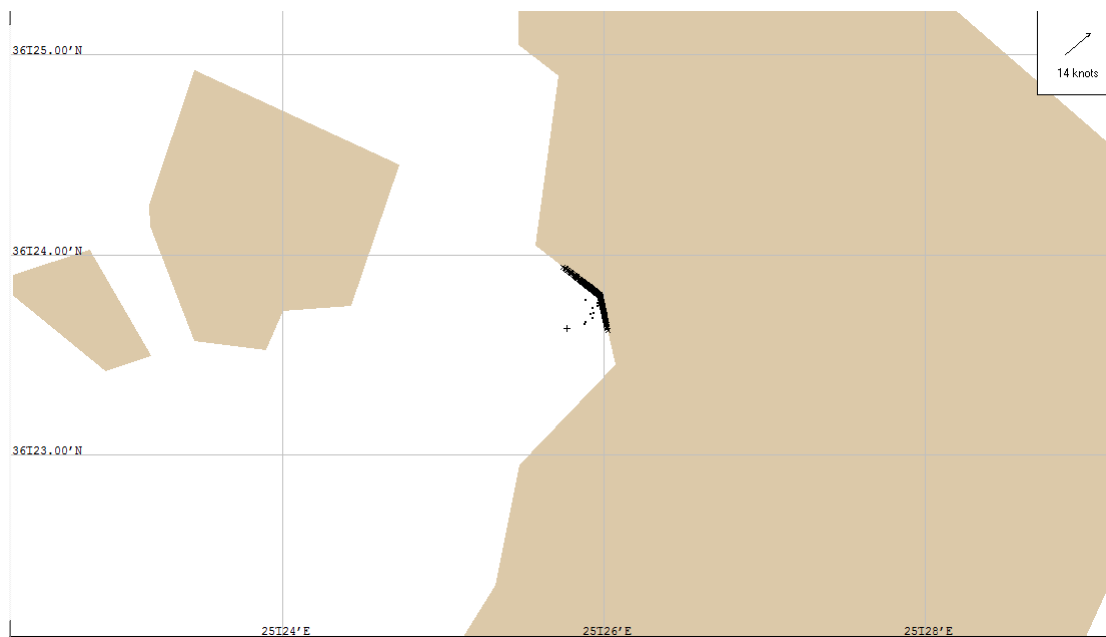
Εικόνα 6.17: Η πετρελαιοκηλίδα στις 00:00 ώρα 4/2/2017.

- ✓ 06:00 : Έπειτα, 6 ώρες αργότερα, θα έχουν διαρρεύσει 198 m³ πετρελαίου (70,8% της συνολικής ποσότητας) με τον άνεμο να έχει κατεύθυνση νοτιοδυτική και ένταση 8 knots. Στις ακτές θα οδηγηθούν 174 m³ (87,7% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει), ενώ στην επιφάνεια της θάλασσας θα επιπλέουν 8 m³ (4,2% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει). Επίσης, 16 m³ πετρελαίου (8,1% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα έχουν εξατμισθεί και διασπαρθεί.



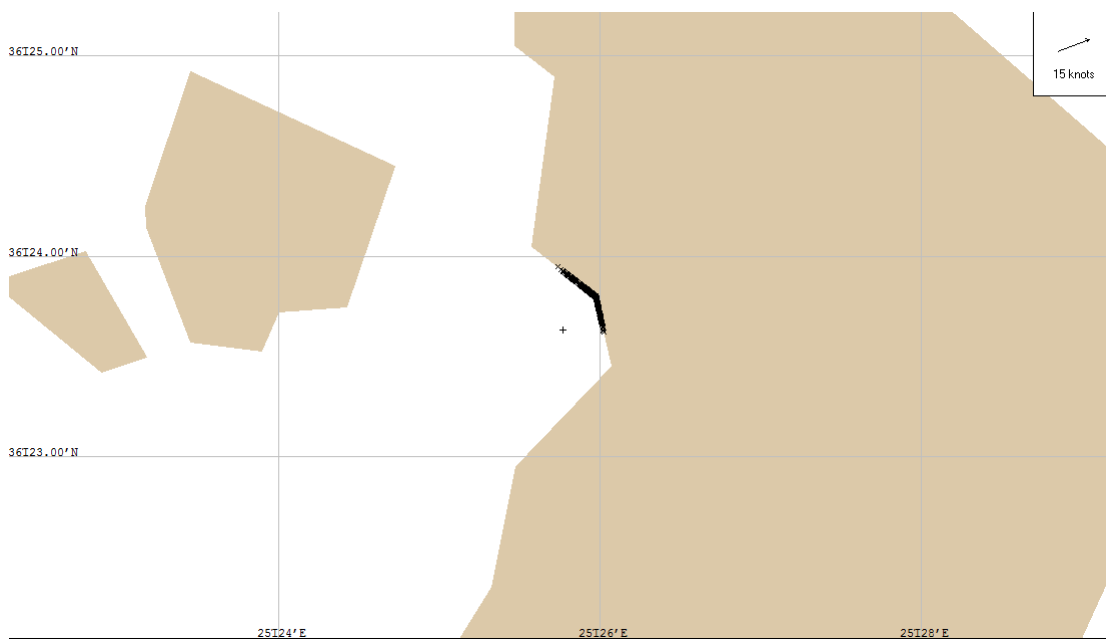
Εικόνα 6.18: Η πετρελαιοκηλίδα στις 06:00 ώρα 4/2/2017.

- ✓ 12:00 : Στην συνέχεια, 6 ώρες μετά θα έχουν διαρρεύσει 268 m³ πετρελαίου (95,8% της συνολικής ποσότητας) με τον άνεμο να έχει κατεύθυνση νοτιοδυτική και ένταση 14 knots. Στις ακτές θα βρίσκονται 237 m³ (95,8% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει), ενώ στην επιφάνεια της θάλασσας θα επιπλέουν 3 m³ (1% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει). Επίσης, 29 m³ (10,8% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα έχουν εξατμισθεί και διασπαρθεί.



Εικόνα 6.19: Η πετρελαιοκηλίδα στις 12:00 ώρα 4/2/2017.

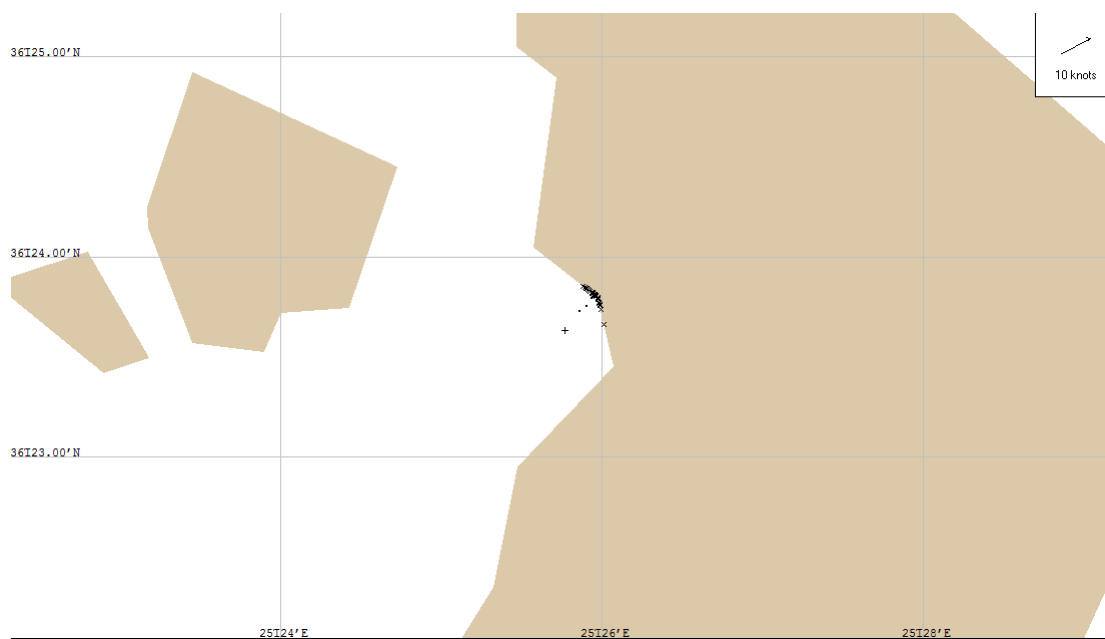
- ✓ 18:00 : Τις επόμενες 6 ώρες θα έχουν διαρρεύσει 280 m³ πετρελαίου (100% της συνολικής ποσότητας) με τον άνεμο να έχει κατεύθυνση δυτική - νοτιοδυτική και ένταση 15 knots. Από αυτή την ποσότητα, 241 m³ (85,9%) θα βρίσκονται στις ακτές, ενώ 39 m³ (14,1%) θα έχουν εξατμισθεί και διασπαρθεί.



Εικόνα 6.20: Η πετρελαιοκηλίδα στις 18:00 ώρα 4/2/2017.

- ✓ Επίσης, όπως φαίνεται στην παραπάνω Εικόνα 6.20, το πετρέλαιο 30 ώρες μετά την έναρξη της διαρροής θα έχει καλύψει την ακτογραμμή σε μήκος περίπου 850 μέτρων.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί, ότι 2 ώρες μετά την έναρξη της διαρροής, με τους ανέμους να έχουν νοτιοδυτική κατεύθυνση και η έντασή τους να είναι 10 knots, θα έχει διαρρεύσει ποσότητα μόλις 12 m³ πετρελαίου (4,2% της συνολικής ποσότητας), η οποία όμως σχεδόν όλη θα βρίσκεται στις ακτές (10 m³) και μόλις 1 m³ θα επιπλέει στην επιφάνεια της θάλασσας.



Εικόνα 6.21: Η πετρελαιοκηλίδα στις 14:00 ώρα 4/2/2017.

6.2.1.2. Αποτελέσματα ADIOS

Παρακάτω, περιγράφονται οι φυσικοχημικές αλλαγές που διαδραματίζονται στην πετρελαιοκηλίδα σε σχέση με το χρόνο, όσο αυτή βρίσκεται στην θάλασσα, με βάση τα δεδομένα που εισήχθησαν.

- ☐ **Oil Type**
 - BUNKER C FUEL OIL
 - Location = none listed
 - Synonyms = RESIDUAL/HEAVY FUEL OIL
 - Product Type = refined
 - API = 12.3
 - Pour Point = 15 deg C
 - Flash Point = 98 deg C
 - Density = 0.982 g/cc at 16 deg C
 - Viscosity = 1292.1 cSt at 16 deg C
 - Adhesion = unknown
 - Aromatics = 55 weight %
 - WARNING! Benzene graph for this product may be unreliable.
- ☐ **Emulsification**
 - Mousse begins to form when 100% of the oil has evaporated.
- ☐ **Wind and Wave Conditions**
 - Variable Wind
 - Winds Start = February 03, 12:00 hours
 - Winds Stop = February 04, 18:00 hours
- ☐ **Water Properties**
 - Temperature = 16 deg C
 - Salinity = 39 ppt
 - Sediment Load = 5 g/m3 (ocean)
 - Current = 0 mph
- ☐ **Release Information**
 - ☐ **Continuous Release**
 - Time of Release = February 03, 1200 hours
 - Amount Spilled = 280 cu m
 - Duration of Release = 24 hours

Εικόνα 6.22: Δεδομένα εισόδου 1^{ης} περίπτωσης του 2^{ου} σεναρίου για το ADIOS.

Αρχικά, στον Πίνακα 6.5 καταγράφονται τα ποσοστιαία αποτελέσματα που εξάγει το ADIOS με την χρήση των παραπάνω δεδομένων.

Ημερομηνία	Ώρα	Ποσότητα διαρροής (m ³)	Ποσοστό εξάτμισης (%)	Ποσοστό διασποράς (%)	Ποσοστό που παρέμεινε (%)
Feb 03	13:00	12	2	0	98
	14:00	23	4	0	96
	16:00	47	5	0	95
	18:00	70	6	0	94
	20:00	93	7	0	93
	22:00	117	7	0	93
Feb 04	0:00	140	8	0	92
	2:00	163	8	0	92
	4:00	187	9	0	91
	6:00	210	9	0	91
	8:00	233	9	0	91
	10:00	257	10	0	90
	12:00	280	10	0	90
	14:00	280	12	0	88
	16:00	280	13	0	87
	18:00	280	13	0	87

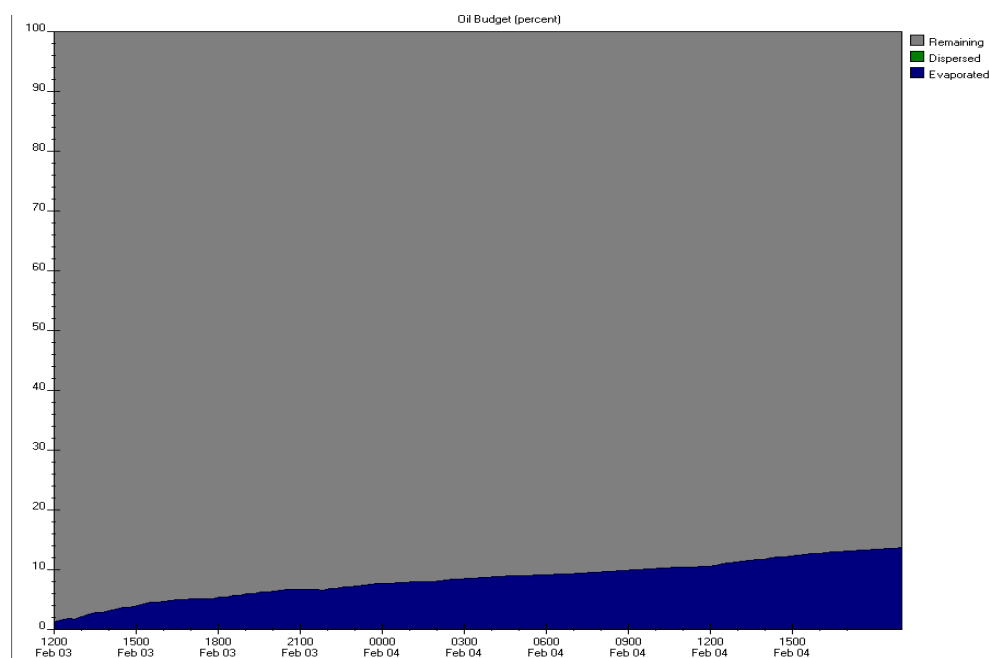
Πίνακας 6.5: Ποσοστιαία αποτελέσματα φυσικοχημικών διεργασιών σε σχέση με τον χρόνο.

Επίσης, στον παρακάτω πίνακα καταγράφονται τα ποσοτικά αποτελέσματα των φυσικοχημικών διεργασιών.

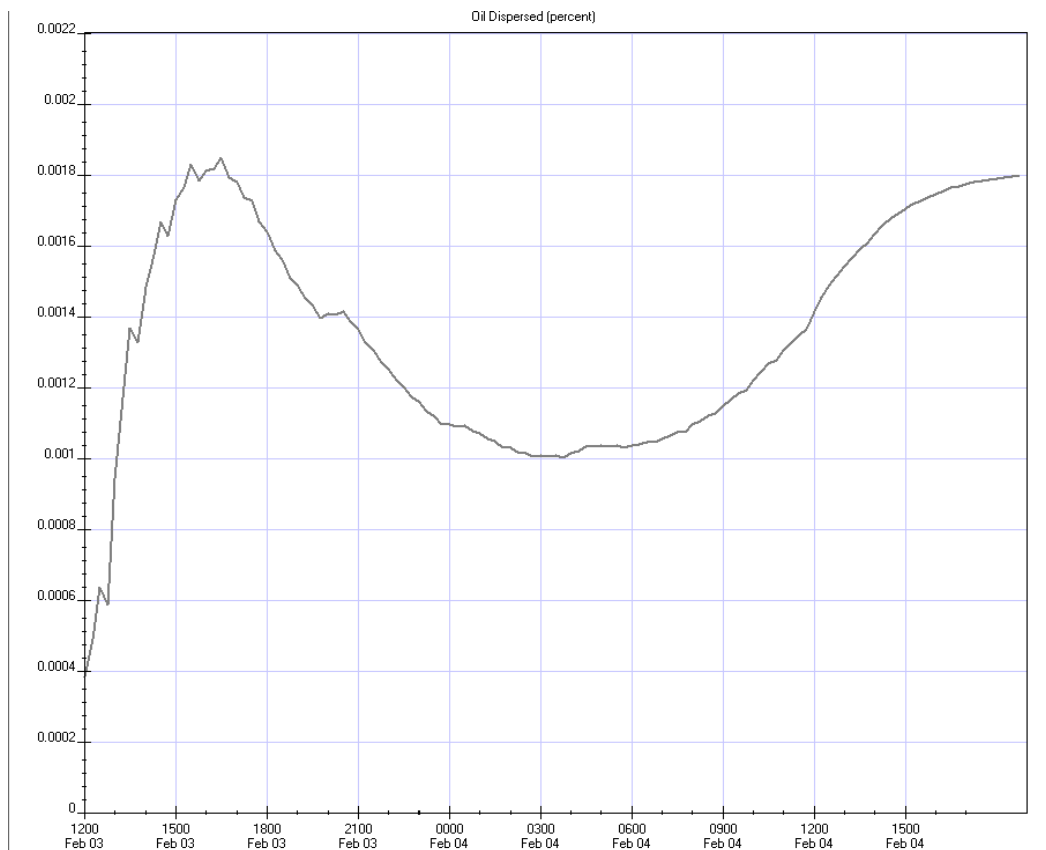
Ημερομηνία	Ώρα	Ποσότητα διαρροής (m ³)	Ποσότητα που εξατμίστηκε (m ³)	Ποσότητα που διαρπάρθηκε (m ³)	Ποσότητα που παρέμεινε (m ³)
Feb 03	13:00	12	0	0	11
	14:00	23	1	0	22
	16:00	47	2	0	44
	18:00	70	4	0	66
	20:00	93	6	0	87
	22:00	117	8	0	109
Feb 04	0:00	140	11	0	129
	2:00	163	13	0	150
	4:00	187	16	0	171
	6:00	210	19	0	191
	8:00	233	22	0	211
	10:00	257	26	0	231
	12:00	280	29	0	251
	14:00	280	33	0	247
	16:00	280	35	0	245
	18:00	280	37	0	243

Πίνακας 6.6: Ποσοτικά αποτελέσματα φυσικοχημικών διεργασιών σε σχέση με τον χρόνο.

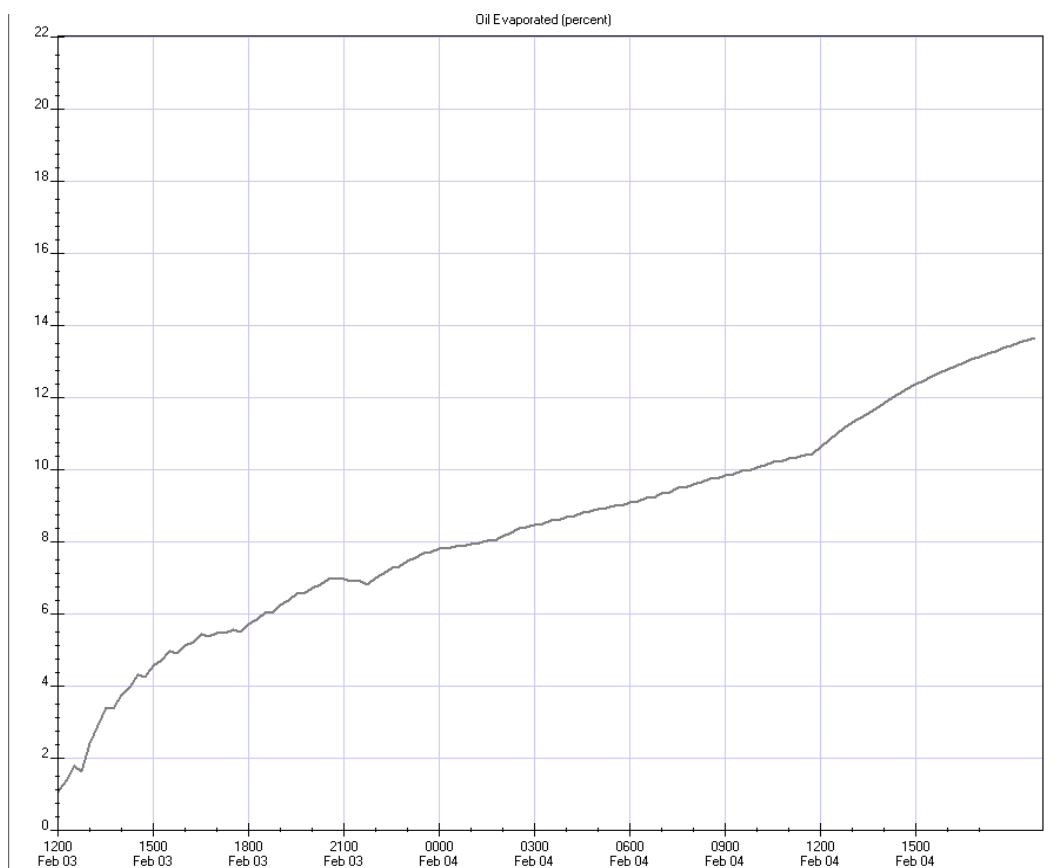
Ακολούθως, παρουσιάζονται με την μορφή γραφημάτων τα αποτελέσματα του προγράμματος.



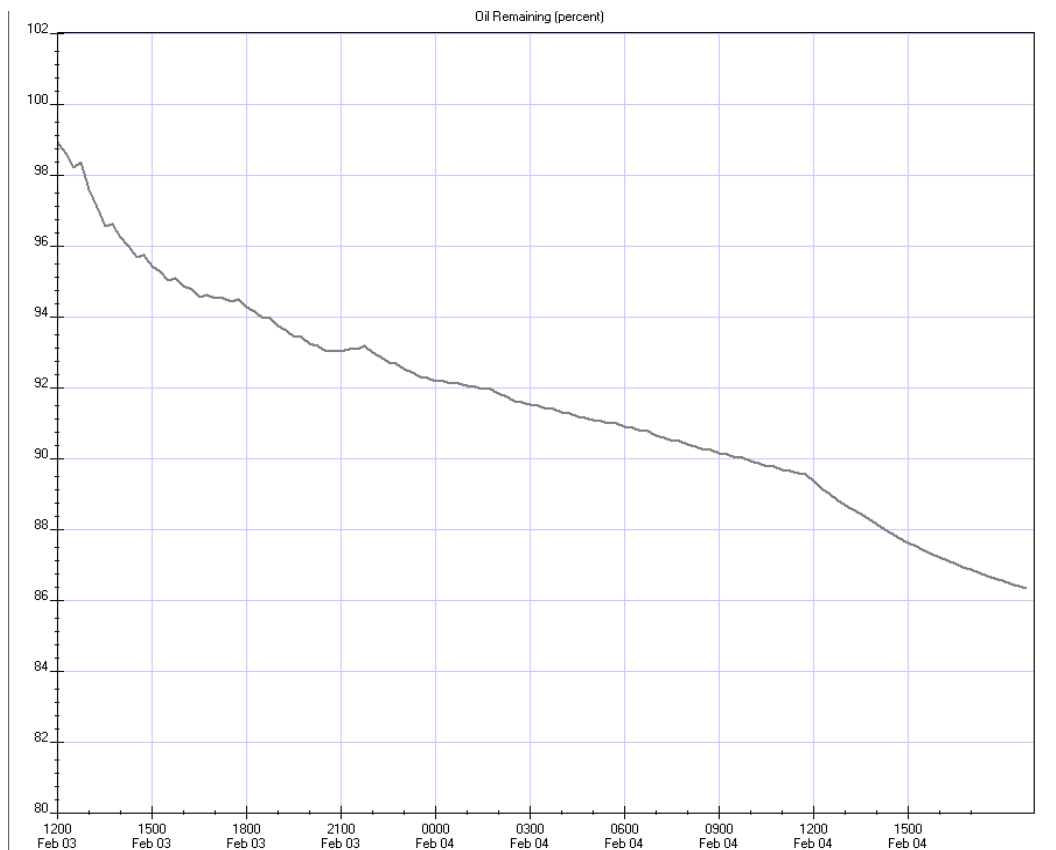
Γράφημα 6.13: Ποσοστά των φυσικοχημικών διεργασιών σε σχέση με τον χρόνο.



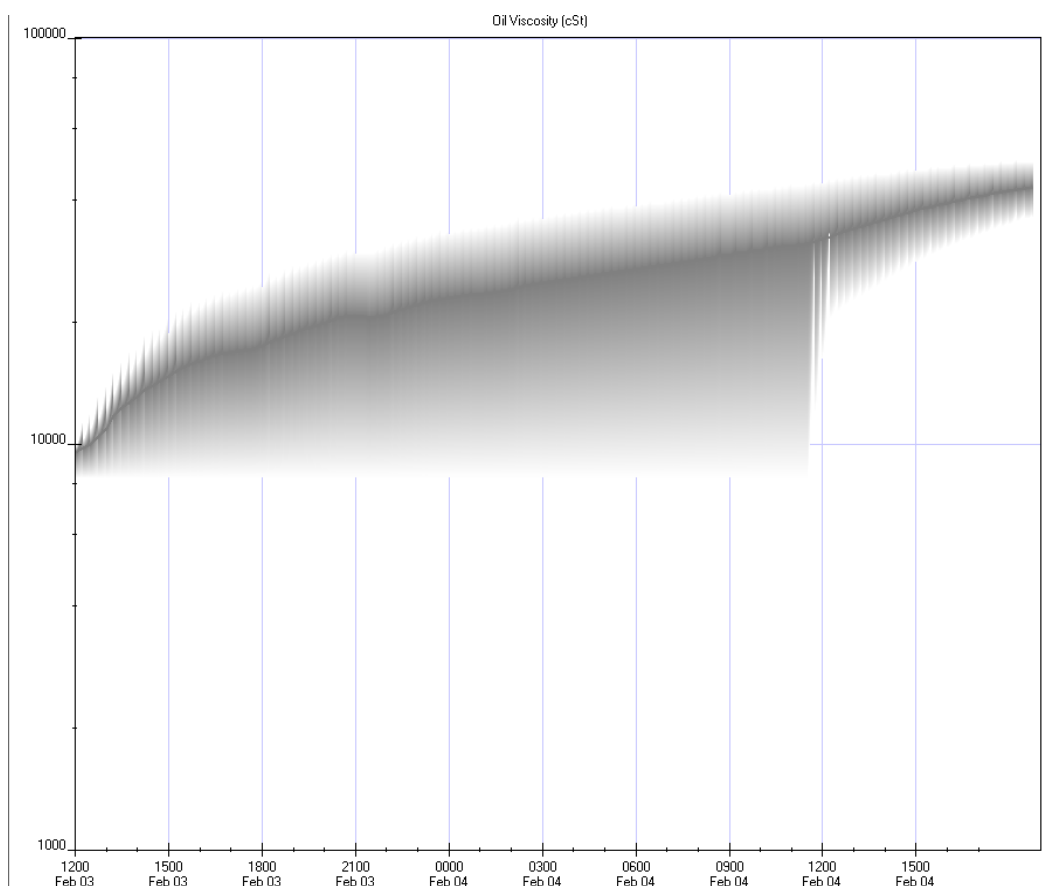
Γράφημα 6.14: Διασπορά του πετρελαίου σε σχέση με τον χρόνο (%).



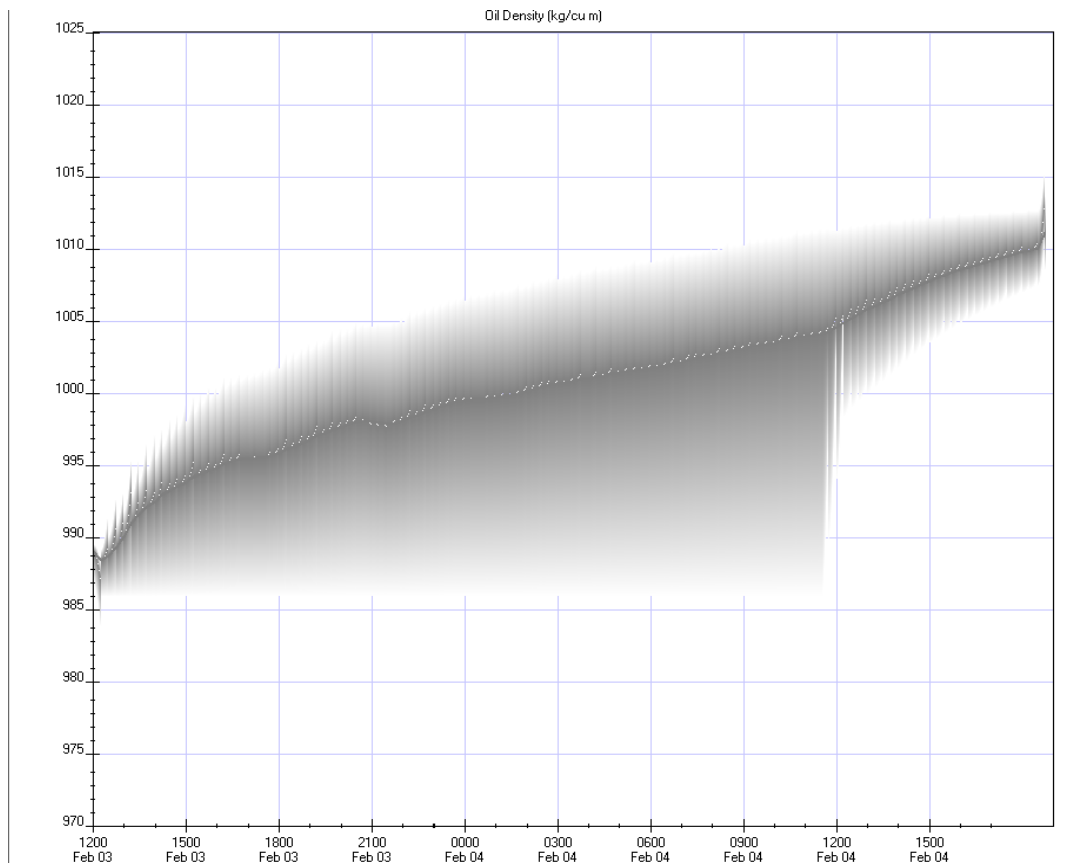
Γράφημα 6.15: Εξάτμιση του πετρελαίου σε σχέση με τον χρόνο (%).



Γράφημα 6.16: Εναπομείναν πετρέλαιο σε σχέση με τον χρόνο (%).



Γράφημα 6.17: Μεταβολή του ιξώδους σε σχέση με τον χρόνο (cSt).



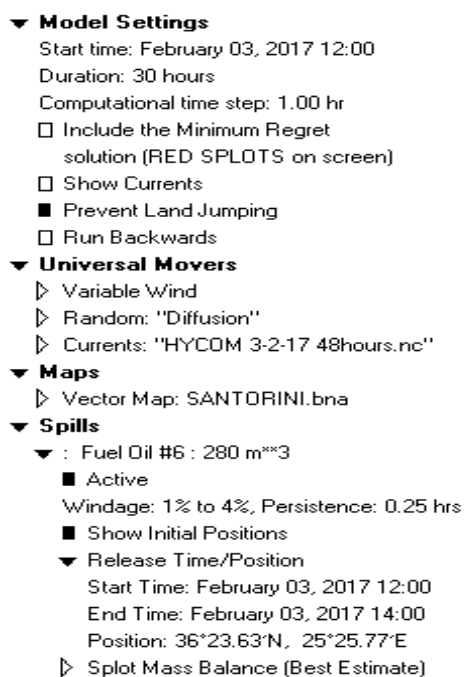
Γράφημα 6.18: Μεταβολή της πυκνότητας σε σχέση με τον χρόνο (kg/m^3).

Όλα τα παραπάνω γραφήματα, παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις σε κάποιες χρονικές στιγμές σε σχέση με τα αντίστοιχα του πρώτου σεναρίου, λόγω των διαφορετικών ανεμολογικών δεδομένων που εισήχθησαν. Παρόλα αυτά όμως, έπειτα από 30 ώρες από την έναρξη της απελευθέρωσης των καυσίμων, τα αποτελέσματα παρουσιάζουν μικρές διαφοροποιήσεις.

6.2.2. 2^η περίπτωση

6.2.2.1. Αποτελέσματα GNOME

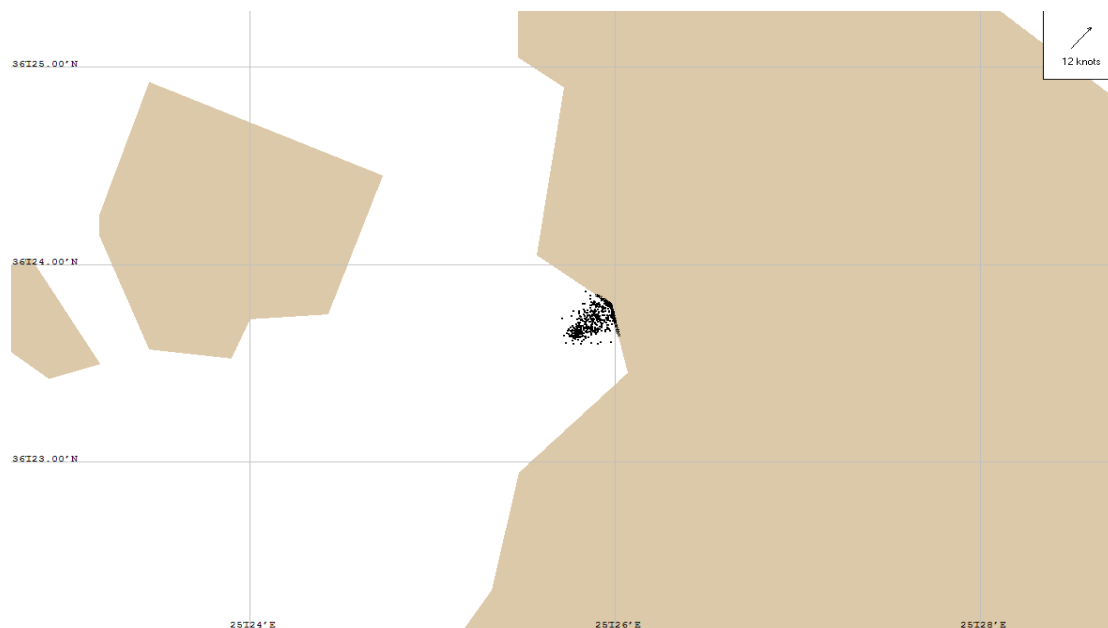
Για τη 2^η περίπτωση η διαρροή του πετρελαίου από το κουφάρι του πλοίου διαρκεί 2 ώρες.



Εικόνα 6.23: Δεδομένα εισόδου 2^{ης} περίπτωσης του 2^{ου} σεναρίου για το GNOME.

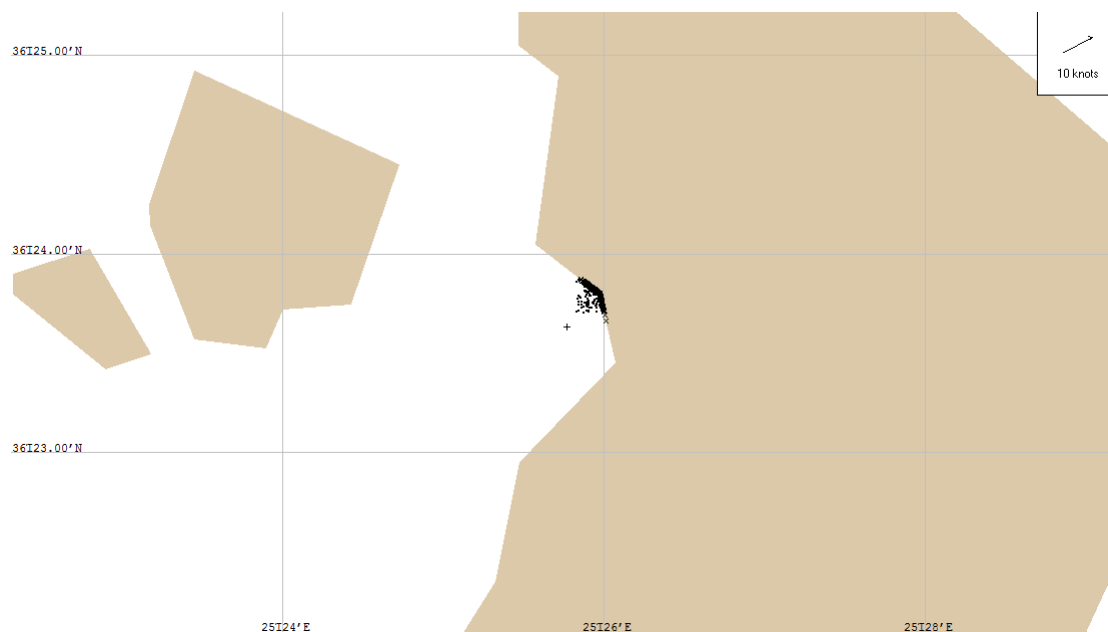
Στη συνέχεια ακολουθεί η κίνηση της πετρελαιοκηλίδας για συγκεκριμένες χρονικές στιγμές:

- ✓ 13:00 : Την πρώτη ώρα θα έχουν διαρρεύσει 140 m³ (50% της συνολικής ποσότητας πετρελαίου που βρίσκεται στις δεξαμενές) πετρελαίου HFO από το κουφάρι του πλοίου, όπου με τον άνεμο να έχει κατεύθυνση νοτιοδυτική και ένταση 12 knots, το μεγαλύτερο μέρος του πετρελαίου αυτού, και πιο συγκεκριμένα 31 m³ (22,2% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα βρεθεί στις ακτές. Από το υπόλοιπο, 107 m³ (76,4% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα επιπλέει στην θάλασσα και 2 m³ (1,4% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα έχει εξατμισθεί και διασπαρθεί.



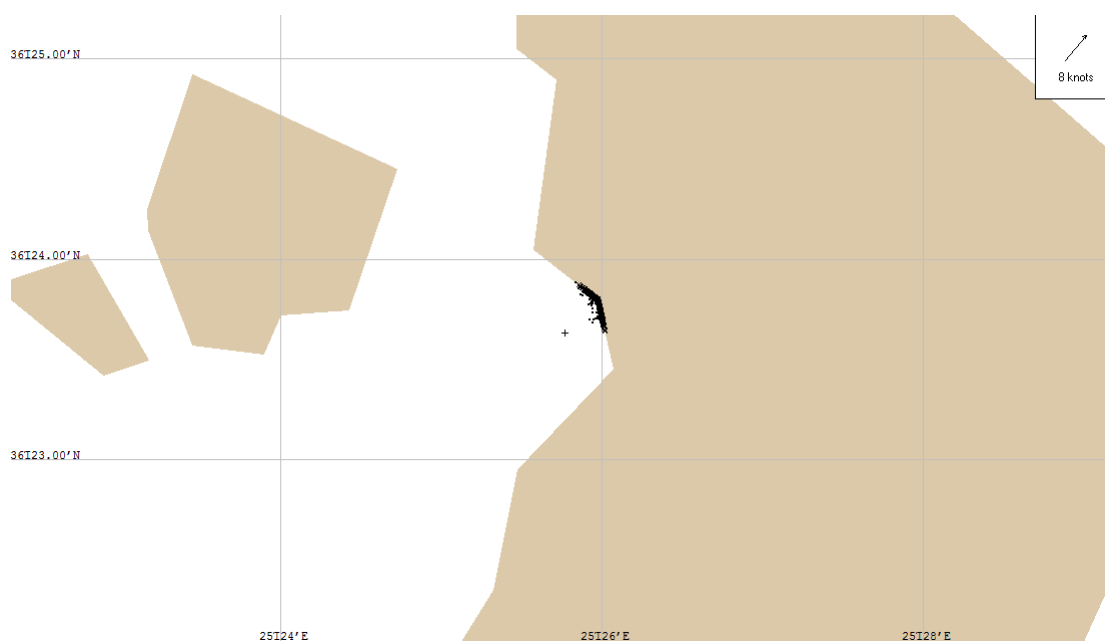
Εικόνα 6.24: Η πετρελαιοκηλίδα στις 13:00 ώρα 3/2/2017.

- ✓ **14:00** : Τις επόμενες 2 ώρες θα έχουν διαρρεύσει 280 m³ πετρελαίου HFO από το κουφάρι του πλοίου, όπου με τον άνεμο να έχει κατεύθυνση νοτιοδυτική και ένταση 10 knots, το μεγαλύτερο μέρος του πετρελαίου αυτού, και πιο συγκεκριμένα 172 m³ (61,4% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα βρεθεί στις ακτές. Επιπλέον, 103 m³ (36,8% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα επιπλέουν στην θάλασσα και 5 m³ (1,8% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα έχουν εξατμισθεί και διασπαρθεί.



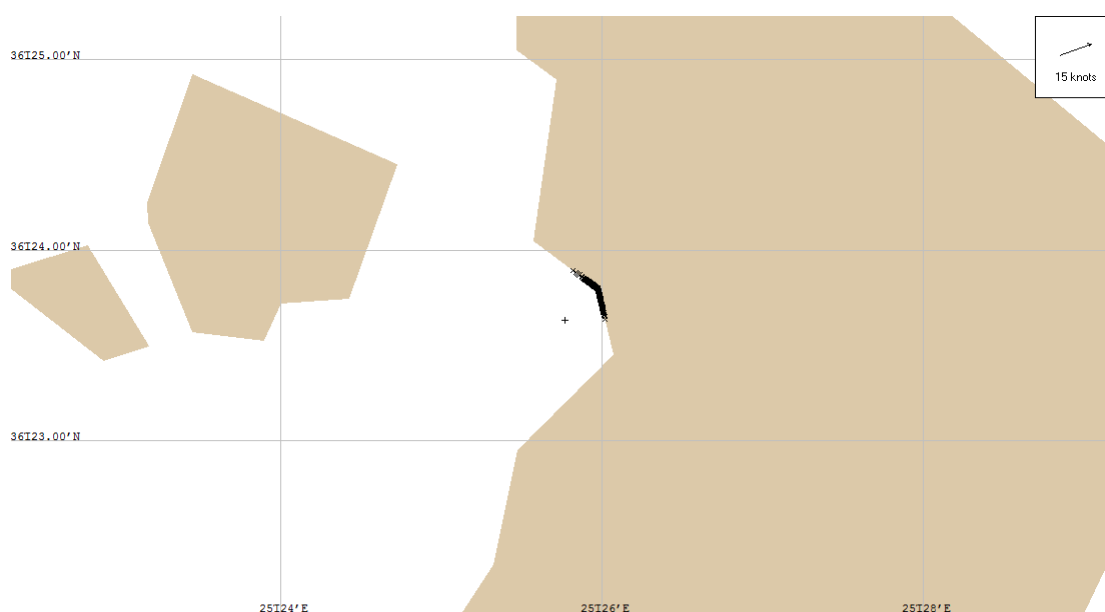
Εικόνα 6.25: Η πετρελαιοκηλίδα στις 14:00 ώρα 3/2/2017.

- ✓ **18:00** : Ακολούθως, 4 ώρες αργότερα με τον άνεμο να έχει κατεύθυνση νοτιοδυτική και ένταση 8 knots, σχεδόν όλη η ποσότητα αυτού θα βρεθεί στις ακτές και πιο συγκεκριμένα 255 m³ (91% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει). Από την εναπομείνουσα ποσότητα, 10 m³ (3,5% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα επιπλέει στην θάλασσα και 15 m³ (5,5% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα έχει εξατμισθεί και διασπαρθεί.



Εικόνα 6.26: Η πετρελαιοκηλίδα στις 14:00 ώρα 3/2/2017.

- ✓ Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι 30 ώρες μετά την έναρξη της διαρροής το πετρέλαιο θα έχει καλύψει μήκος ακτογραμμής περίπου 630 μέτρων.



Εικόνα 6.27: Η πετρελαιοκηλίδα στις 18:00 ώρα 4/2/2017.

6.2.2.2 Αποτελέσματα ADIOS

Αφού εισαχθούν τα δεδομένα όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 4.4, έπειτα μελετώνται οι φυσικοχημικές αλλαγές που λαμβάνουν χώρα στην πετρελαιοκηλίδα σε σχέση με το χρόνο.

- ☐ **Oil Type**
 - BUNKER C FUEL OIL
 - Location = none listed
 - Synonyms = RESIDUAL/HEAVY FUEL OIL
 - Product Type = refined
 - API = 12.3
 - Pour Point = 15 deg C
 - Flash Point = 98 deg C
 - Density = 0.982 g/cc at 16 deg C
 - Viscosity = 1292.1 cSt at 16 deg C
 - Adhesion = unknown
 - Aromatics = 55 weight %
 - WARNING! Benzene graph for this product may be unreliable.
- ☐ **Emulsification**
 - Mousse begins to form when 100% of the oil has evaporated.
- ☐ **Wind and Wave Conditions**
 - Variable Wind
 - Winds Start = February 03, 12:00 hours
 - Winds Stop = February 04, 18:00 hours
- ☐ **Water Properties**
 - Temperature = 16 deg C
 - Salinity = 39 ppt
 - Sediment Load = 5 g/m³ (ocean)
 - Current = 0 mph
- ☐ **Release Information**
 - ☐ **Continuous Release**
 - Time of Release = February 03, 1200 hours
 - Amount Spilled = 280 cu m
 - Duration of Release = 2 hours

Εικόνα 6.28: Δεδομένα εισόδου 2^{ης} περίπτωσης του 2^{ου} σεναρίου για το ADIOS.

Αρχικά, παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας με τα ποσοστιαία αποτελέσματα του ADIOS.

Ημερομηνία	Ώρα	Ποσότητα διαρροής (m ³)	Ποσοστό εξάτμισης (%)	Ποσοστό διασποράς (%)	Ποσοστό που παρέμεινε (%)
Feb 03	13:00	140	0	0	100
	14:00	280	1	0	99
	16:00	280	2	0	98
	18:00	280	4	0	96
	20:00	280	6	0	94
	22:00	280	7	0	93
Feb 04	0:00	280	8	0	92
	6:00	280	11	0	89
	12:00	280	12	0	88
	18:00	280	13	0	87

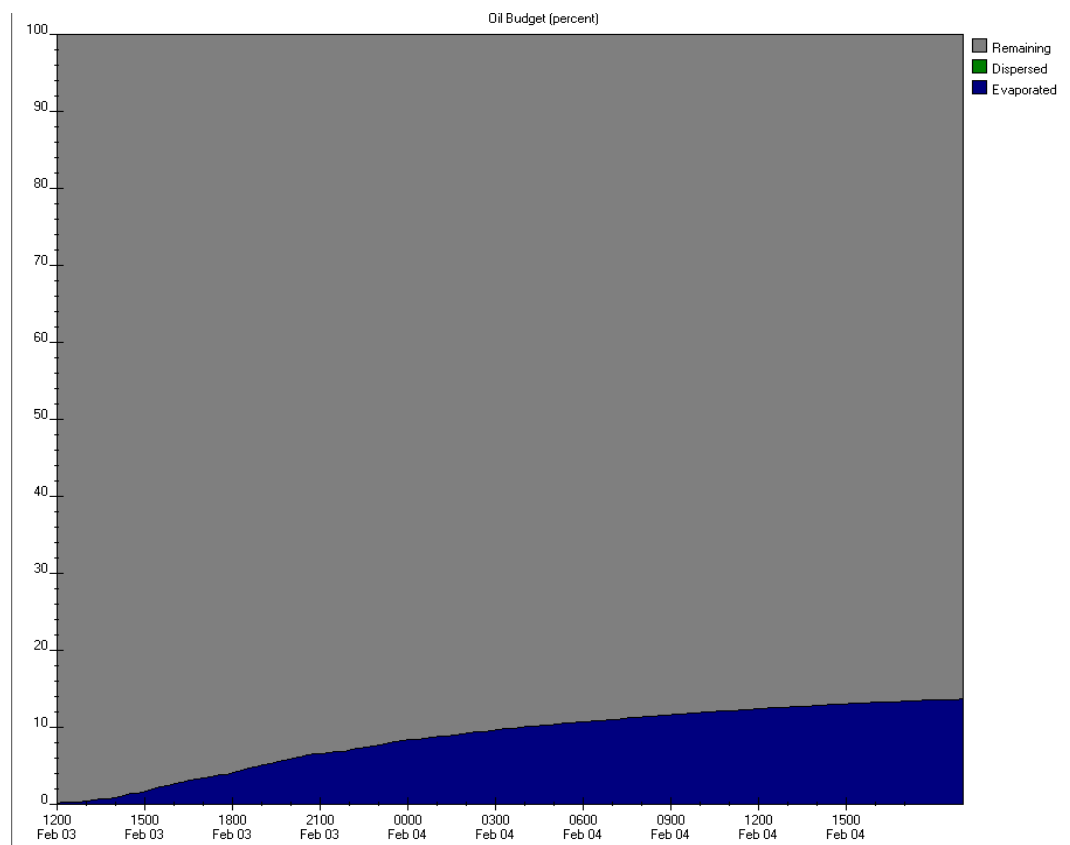
Πίνακας 6.7: Ποσοστιαία αποτελέσματα φυσικοχημικών διεργασιών σε σχέση με τον χρόνο.

Επίσης, στον παρακάτω πίνακα καταγράφονται τα ποσοτικά αποτελέσματα των φυσικοχημικών διεργασιών.

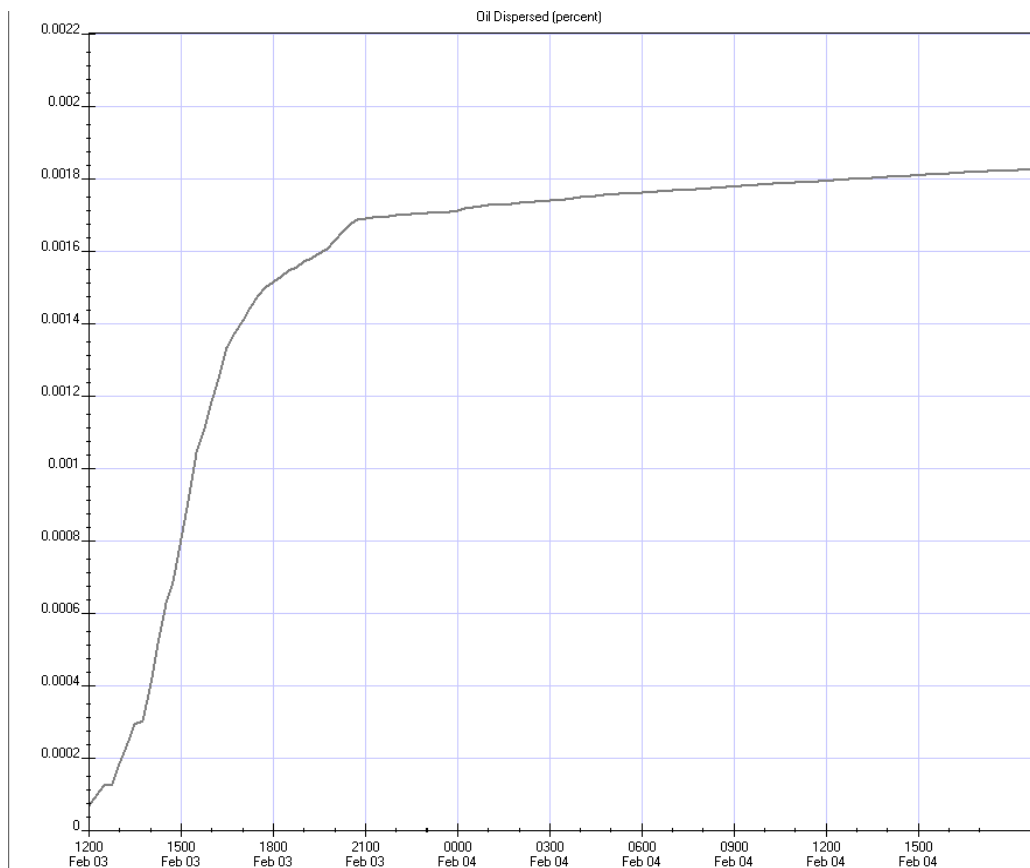
Ημερομηνία	Ώρα	Ποσότητα διαρροής (m ³)	Ποσότητα που εξατμίστηκε (m ³)	Ποσότητα που διαρπάρθηκε (m ³)	Ποσότητα που παρέμεινε (m ³)
Feb 03	13:00	140	0	0	140
	14:00	280	2	0	278
	16:00	280	7	0	273
	18:00	280	11	0	269
	20:00	280	16	0	264
	22:00	280	19	0	261
Feb 04	0:00	280	23	0	257
	6:00	280	30	0	250
	12:00	280	34	0	246
	18:00	280	38	0	242

Πίνακας 6.8: Ποσοτικά αποτελέσματα φυσικοχημικών διεργασιών σε σχέση με τον χρόνο.

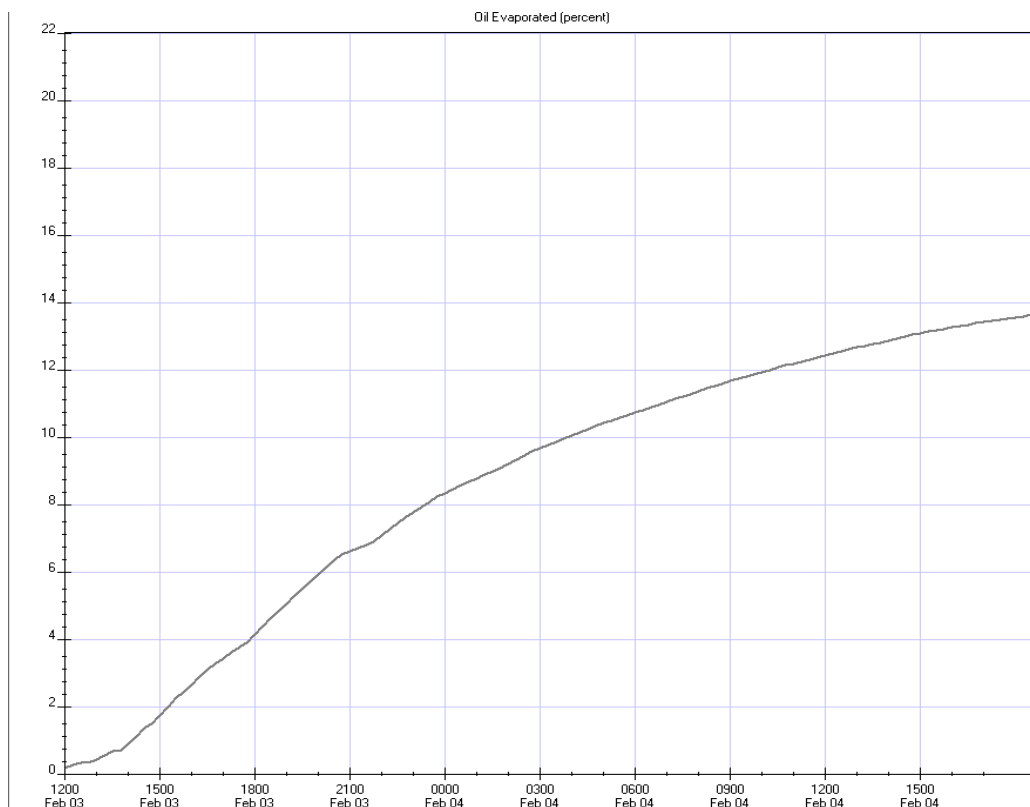
Ακολούθως, παρουσιάζονται με γραφική απεικόνιση τα αποτελέσματα του προγράμματος.



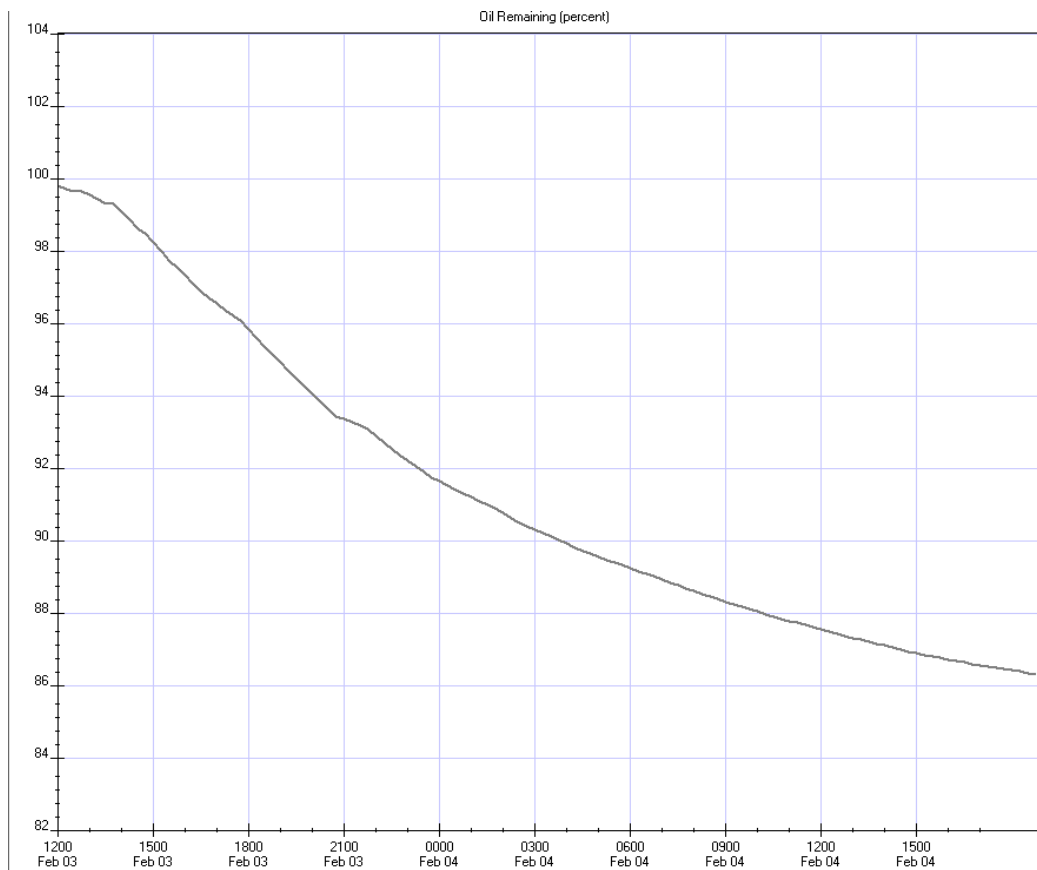
Γράφημα 6.19: Ποσοστά των φυσικοχημικών διεργασιών σε σχέση με τον χρόνο.



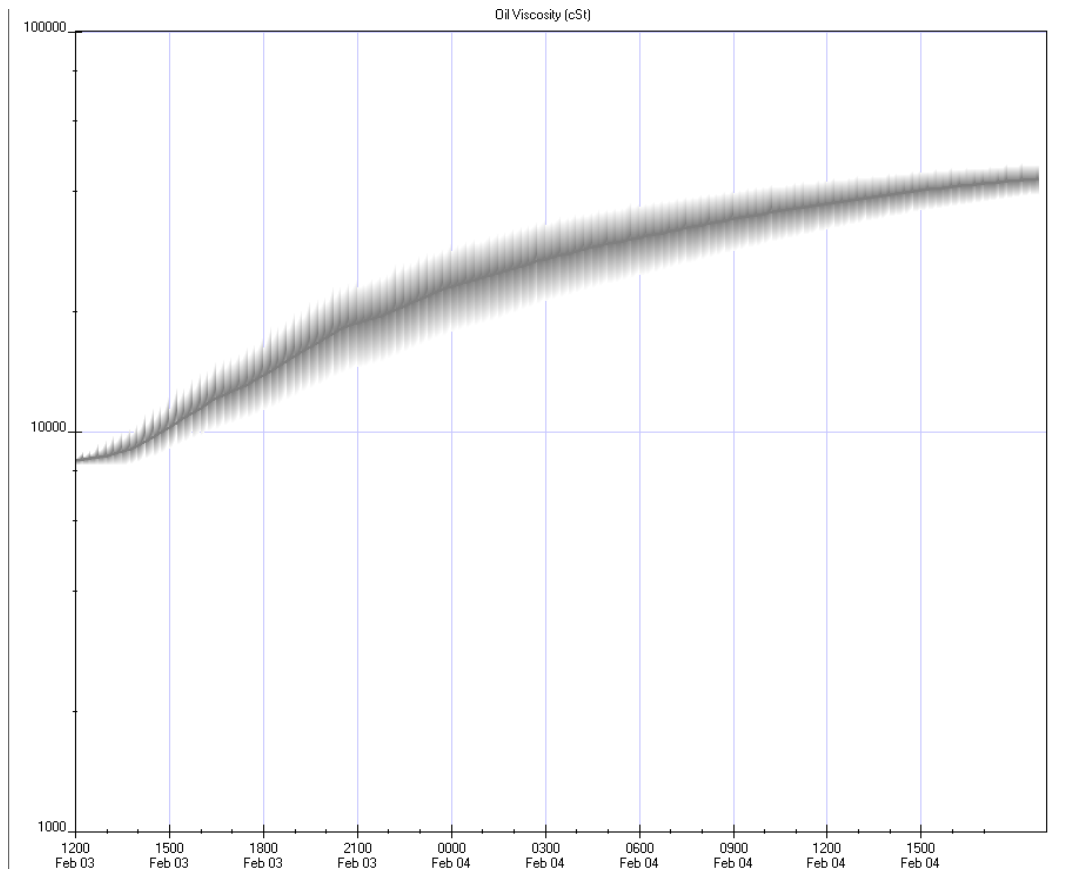
Γράφημα 6.20: Διασπορά του πετρελαίου σε σχέση με τον χρόνο (%).



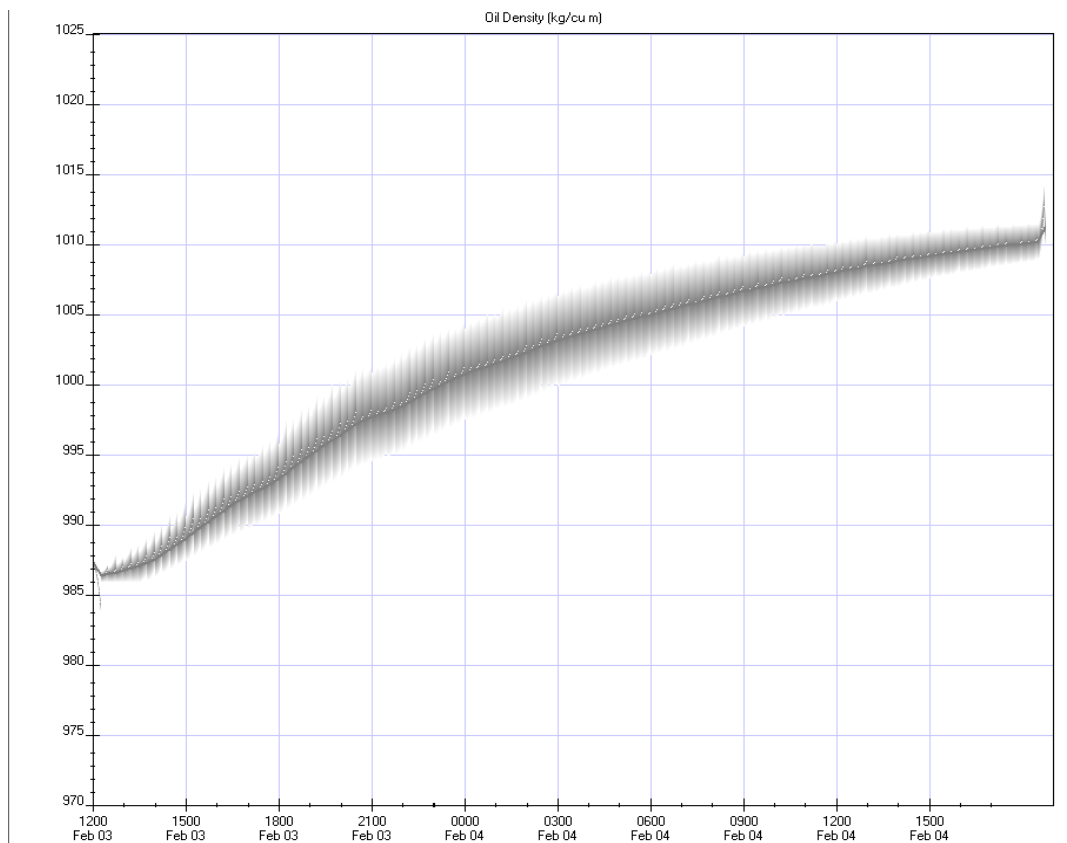
Γράφημα 6.21: Εξάτμιση του πετρελαίου σε σχέση με τον χρόνο (%).



Γράφημα 6.22: Εναπομείναν πετρέλαιο σε σχέση με τον χρόνο (%).



Γράφημα 6.23: Μεταβολή του ιξώδους σε σχέση με τον χρόνο (cSt).



Γράφημα 6.24: Μεταβολή της πυκνότητας σε σχέση με τον χρόνο (kg/m^3).

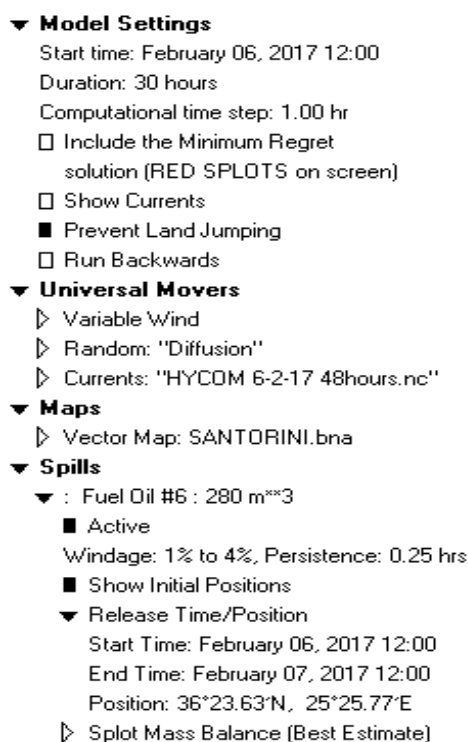
Τα αποτελέσματα των παραπάνω γραφημάτων παρουσιάζουν πολύ μικρές διαφοροποιήσεις σε κάποιες χρονικές στιγμές σε σχέση με την 2^η περίπτωση του 1^{ου} σεναρίου. Παρόλα αυτά έπειτα από 30 ώρες μετά την έναρξη της διαρροής τα αποτελέσματα είναι παρόμοια, τόσο για την ποσότητα του πετρελαίου που αναμένεται να εξατμισθεί και διασπαρθεί, όσο και για την μεταβολή της πυκνότητας και του ιξώδους αυτού.

6.3. Σενάριο 3

6.3.1. 1^η περίπτωση

6.3.1.1. Αποτελέσματα GNOME

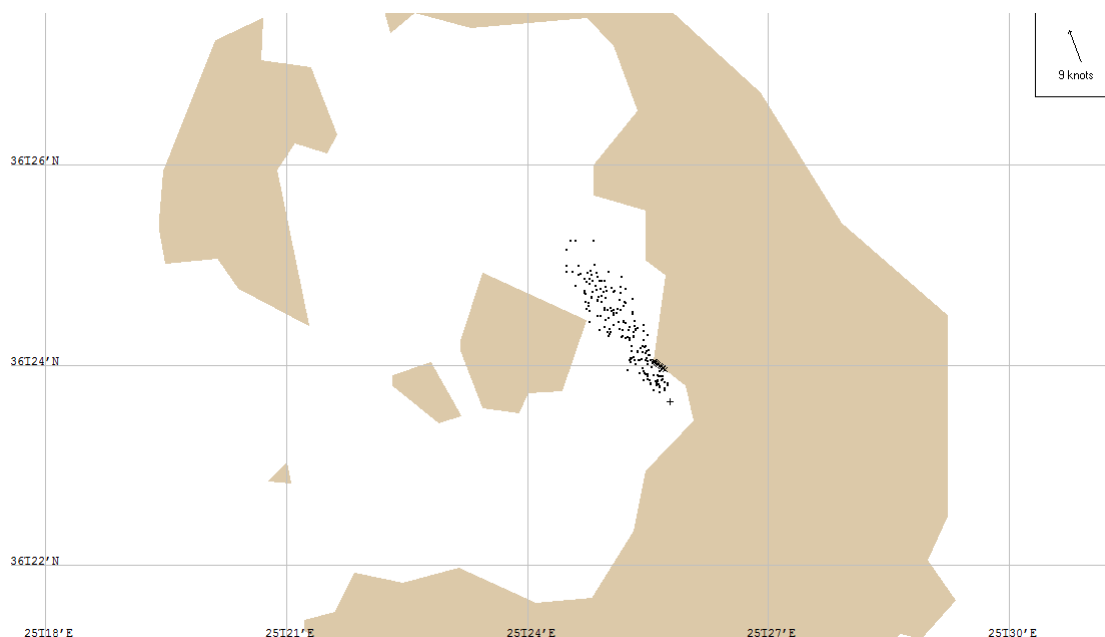
Μετά την έναρξη του προγράμματος παρατηρείται η κίνηση της πετρελαιοκηλίδας σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές για τις ημερομηνίες 6/2/2017 – 7/2/2017.



Εικόνα 6.29: Δεδομένα εισόδου 1^{ης} περίπτωσης του 3^{ου} σεναρίου για το GNOME.

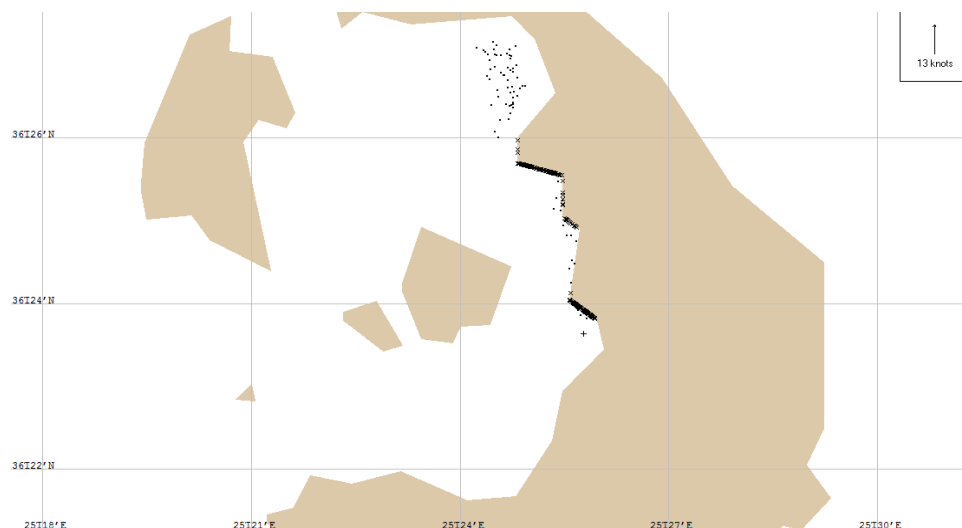
Η ανάλυση της κίνησης της πετρελαιοκηλίδας θα γίνει ανά χρονικά διαστήματα 6 ωρών:

- ✓ 18:00 : Τις πρώτες 6 ώρες θα έχουν διαρρεύσει 59 m^3 (20,9% της συνολικής ποσότητας πετρελαίου που βρίσκεται στις δεξαμενές) πετρελαίου HFO από το κουφάρι του πλοίου, όπου με τον άνεμο να έχει κατεύθυνση νοτιοανατολική και ένταση 9 knots, το μεγαλύτερο μέρος του πετρελαίου αυτού, και πιο συγκεκριμένα 52 m^3 (89% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα επιπλέει στην επιφάνεια της θάλασσας. Από την εναπομείναν ποσότητα, 4 m^3 (6,2% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα βρίσκεται στις ακτές και 3 m^3 (4,8% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα έχει εξατμισθεί και διασπαρθεί.



Εικόνα 6.30: Η πετρελαιοκηλίδα στις 18:00 ώρα 6/2/2017.

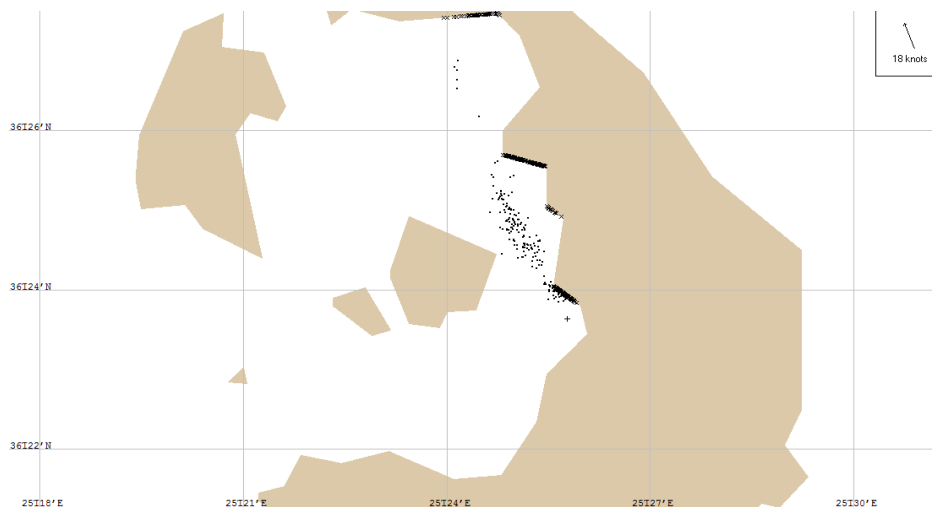
- ✓ 00:00 : Τις επόμενες 6 ώρες θα έχουν διαρρεύσει 128 m³ πετρελαίου (45,8% της συνολικής ποσότητας) με τον άνεμο να έχει κατεύθυνση νότια και ένταση 13 knots. Στις ακτές θα οδηγηθούν 104 m³ (80,8% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει), ενώ στην επιφάνεια της θάλασσας θα επιπλέουν 17 m³ (12,9% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει). Επίσης, 8 m³ αυτού (6,3% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα έχει εξατμισθεί και διασπαρθεί.



Εικόνα 6.31: Η πετρελαιοκηλίδα στις 00:00 ώρα 7/2/2017.

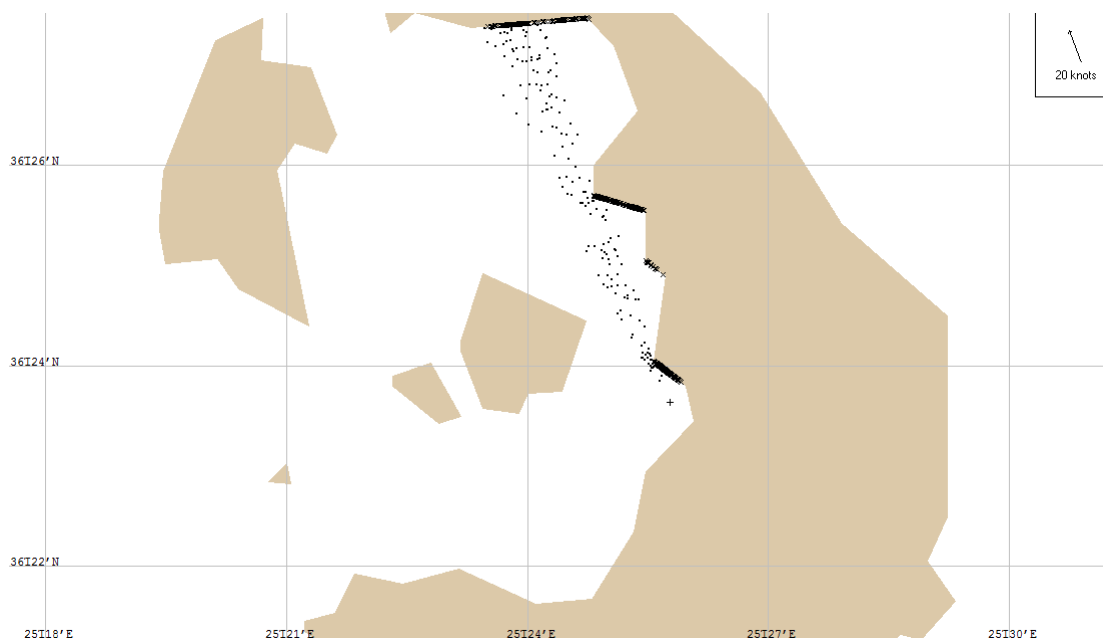
- ✓ 06:00 : 6 ώρες αργότερα, θα έχουν διαρρεύσει 198 m³ πετρελαίου (70,8% της συνολικής ποσότητας) με τον άνεμο να έχει κατεύθυνση νοτιοανατολική και ένταση 18 knots. Στις ακτές θα οδηγηθούν 132 m³ (66,5% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει), ενώ στην επιφάνεια της θάλασσας θα επιπλέουν 50 m³ (25,4% της ποσότητας που έχει

διαρρέυσει). Επίσης, 16 m³ αυτού (8,1% της ποσότητας που έχει διαρρέυσει) θα έχουν εξατμισθεί και διασπαρθεί.



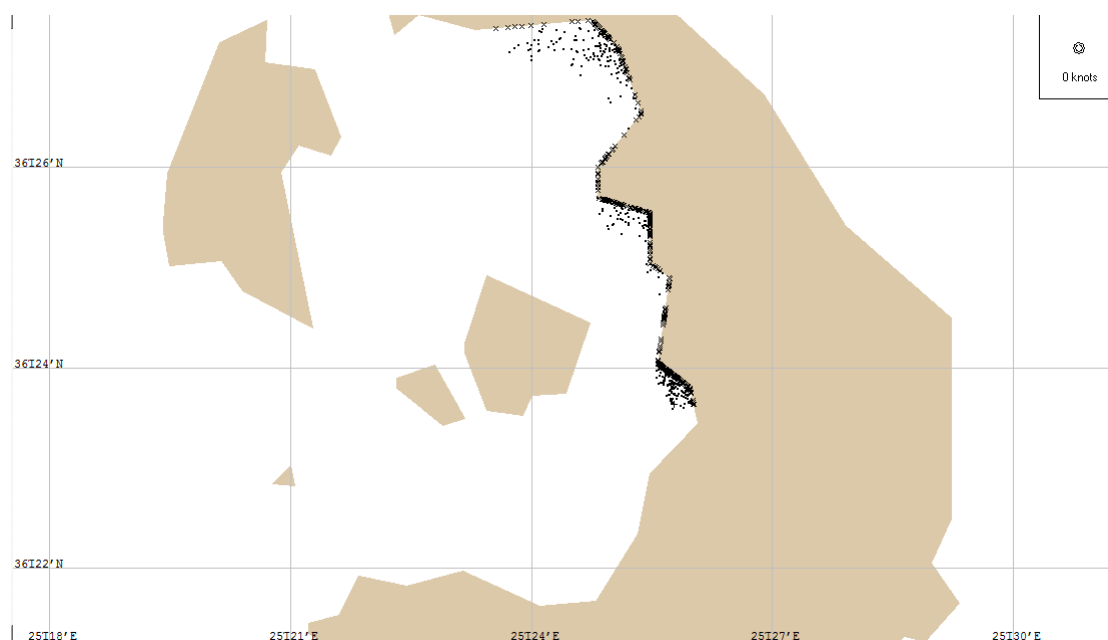
Εικόνα 6.32: Η πετρελαιοκηλίδα στις 06:00 ώρα 7/2/2017.

- ✓ 12:00 : Επίσης, 6 ώρες μετά, θα έχουν διαρρεύσει 268 m³ πετρελαίου (95,8% της συνολικής ποσότητας) με τον άνεμο να έχει κατεύθυνση νοτιοανατολική και ένταση 20 knots. Στις ακτές θα βρίσκονται 189 m³ πετρελαίου (70,5% της ποσότητας που έχει διαρρέυσει), ενώ στην επιφάνεια της θάλασσας θα επιπλέουν 50 m³ (18,8% της ποσότητας που έχει διαρρέυσει). Επίσης, 29 m³ (10,8% της ποσότητας που έχει διαρρέυσει) θα έχουν εξατμισθεί και διασπαρθεί.



Εικόνα 6.33: Η πετρελαιοκηλίδα στις 12:00 ώρα 7/2/2017.

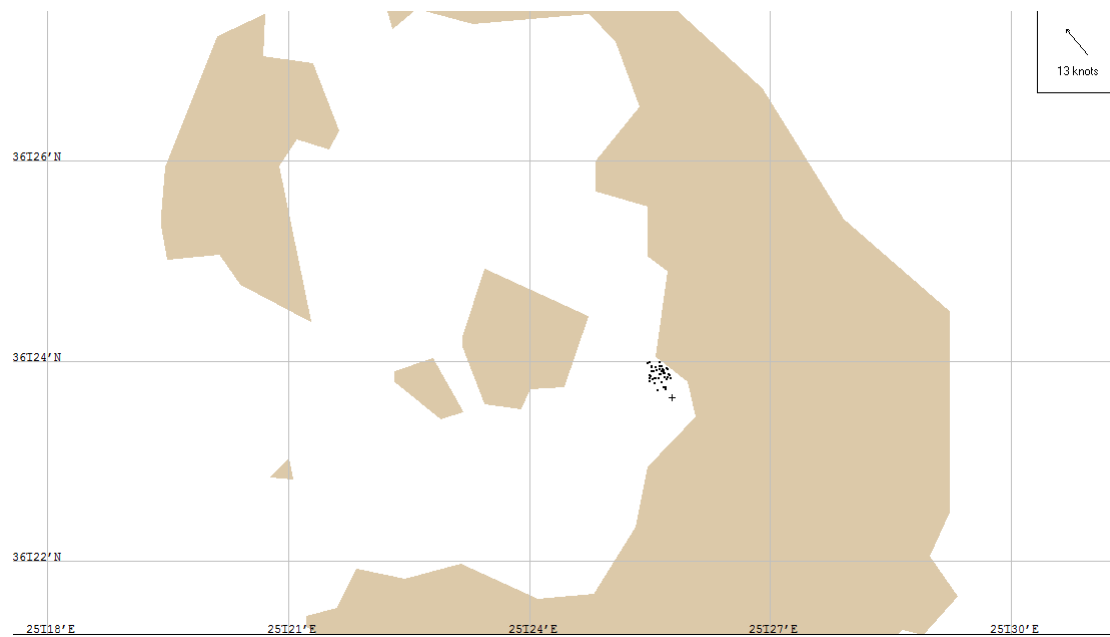
- ✓ 18:00 : Στην συνέχεια, 6 ώρες αργότερα, θα έχουν διαρρεύσει 280 m³ πετρελαίου (100% της συνολικής ποσότητας) με τον άνεμο να έχει μηδενική ένταση. Στις ακτές θα βρίσκονται 143 m³ πετρελαίου (50,9% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει), ενώ στην επιφάνεια της θάλασσας θα επιπλέουν 98 m³ (35% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει). Επίσης, 39 m³ (14,1% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα έχουν εξατμισθεί και διασπαρθεί. Παρατηρούμε ότι στις ακτές θα βρίσκεται μικρότερη ποσότητα πετρελαίου σε σχέση με 6 ώρες πριν, και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την διάρκεια 3 ωρών πριν, η κατεύθυνση του ανέμου είχε αλλάξει σε βορειοδυτική με αποτέλεσμα να απομακρύνει ένα μέρος του πετρελαίου από τις ακτές.



Εικόνα 6.34: Η πετρελαιοκηλίδα στις 18:00 ώρα 7/2/2017.

- ✓ Επίσης, όπως φαίνεται στην παραπάνω Εικόνα 6.34, το πετρέλαιο 30 ώρες μετά την έναρξη της διαρροής θα έχει καλύψει την ακτή σε μήκος 10640 μέτρων.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί, ότι 2 ώρες μετά την έναρξη της διαρροής, με τους ανέμους να έχουν κατεύθυνση νοτιοανατολική και την ένταση τους να είναι 13 knots, θα έχει διαρρεύσει ποσότητα μόλις 12 m³ πετρελαίου (4,2% της συνολικής ποσότητας) η οποία θα βρίσκεται όλη στην επιφάνεια της θάλασσας.



Εικόνα 6.35: Η πετρελαιοκηλίδα στις 14:00 ώρα 6/2/2017.

6.3.1.2. Αποτελέσματα ADIOS

Κατόπιν εισαγωγής των δεδομένων όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 4.4, μελετώνται οι φυσικοχημικές αλλαγές που πραγματοποιούνται στην πετρελαιοκηλίδα σε σχέση με το χρόνο.

- ☐ **Oil Type**
 - BUNKER C FUEL OIL
 - Location = none listed
 - Synonyms = RESIDUAL/HEAVY FUEL OIL
 - Product Type = refined
 - API = 12.3
 - Pour Point = 15 deg C
 - Flash Point = 98 deg C
 - Density = 0.982 g/cc at 16 deg C
 - Viscosity = 1292.1 cSt at 16 deg C
 - Adhesion = unknown
 - Aromatics = 55 weight %
 - WARNING! Benzene graph for this product may be unreliable.
- ☐ **Emulsification**
 - Mousse begins to form when 100% of the oil has evaporated.
- ☐ **Wind and Wave Conditions**
 - Variable Wind
 - Winds Start = February 06, 12:00 hours
 - Winds Stop = February 07, 17:00 hours
- ☐ **Water Properties**
 - Temperature = 16 deg C
 - Salinity = 39 ppt
 - Sediment Load = 5 g/m3 (ocean)
 - Current = 0 mph
- ☐ **Release Information**
 - ☐ **Continuous Release**
 - Time of Release = February 06, 1200 hours
 - Amount Spilled = 280 cu m
 - Duration of Release = 24 hours

Εικόνα 6.36: Δεδομένα εισόδου 1^{ης} περίπτωσης του 3^{ου} σεναρίου για το ADIOS.

Αρχικά, στον Πίνακα 6.9 καταγράφονται τα ποσοστιαία αποτελέσματα των διεργασιών εξάτμισης και διασποράς.

Ημερομηνία	Ώρα	Ποσότητα διαρροής (m ³)	Ποσοστό εξάτμισης	Ποσοστό Διασποράς	Ποσοστό που παρέμεινε
Feb 06	13:00	12	2	0	98
	14:00	23	4	0	96
	16:00	47	6	0	94
	18:00	70	7	0	93
	20:00	93	8	0	92
	22:00	117	9	0	91
Feb 07	0:00	140	10	0	90
	2:00	163	10	0	90
	4:00	187	11	0	89
	6:00	210	11	0	89
	8:00	233	12	0	88
	10:00	257	12	0	88
	12:00	280	12	0	88
	14:00	280	13	0	87
	16:00	280	14	0	86
	18:00	280	14	0	86

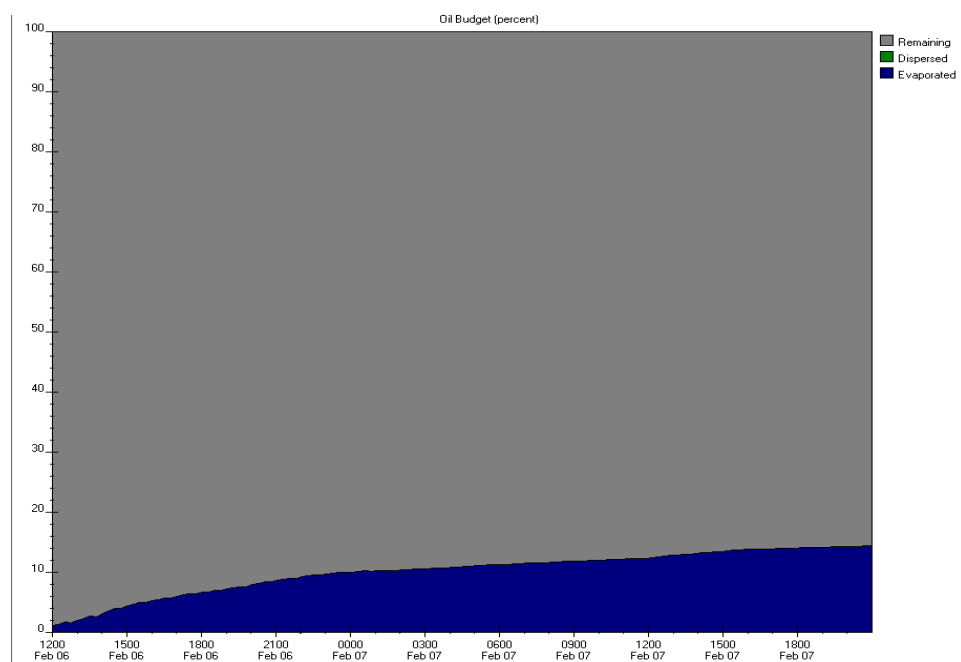
Πίνακας 6.9: Ποσοστιαία αποτελέσματα φυσικοχημικών διεργασιών σε σχέση με τον χρόνο.

Επίσης, παρακάτω καταγράφονται τα ποσοτικά αποτελέσματα των φυσικοχημικών διεργασιών.

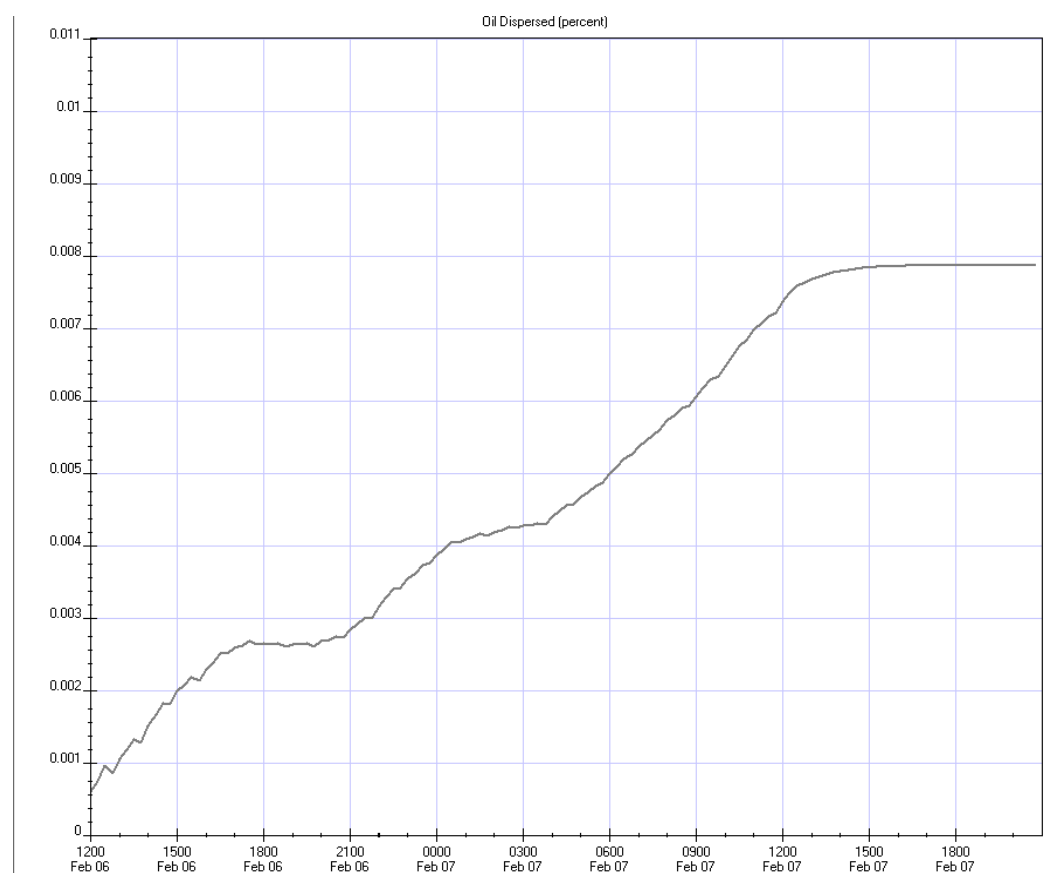
Ημερομηνία	Ώρα	Ποσότητα διαρροής (m ³)	Ποσότητα που εξατμίστηκε (m ³)	Ποσότητα που διαρπάρθηκε (m ³)	Ποσότητα που παρέμεινε (m ³)
Feb 06	13:00	12	0	0	11
	14:00	23	1	0	23
	16:00	47	3	0	44
	18:00	70	5	0	65
	20:00	93	7	0	86
	22:00	117	10	0	106
Feb 07	0:00	140	14	0	126
	2:00	163	17	0	147
	4:00	187	20	0	167
	6:00	210	24	0	186
	8:00	233	27	0	206
	10:00	257	31	0	226
	12:00	280	34	0	246
	14:00	280	37	0	243
	16:00	280	39	0	241
	18:00	280	39	0	241

Πίνακας 6.10: Ποσοτικά αποτελέσματα φυσικοχημικών διεργασιών σε σχέση με τον χρόνο.

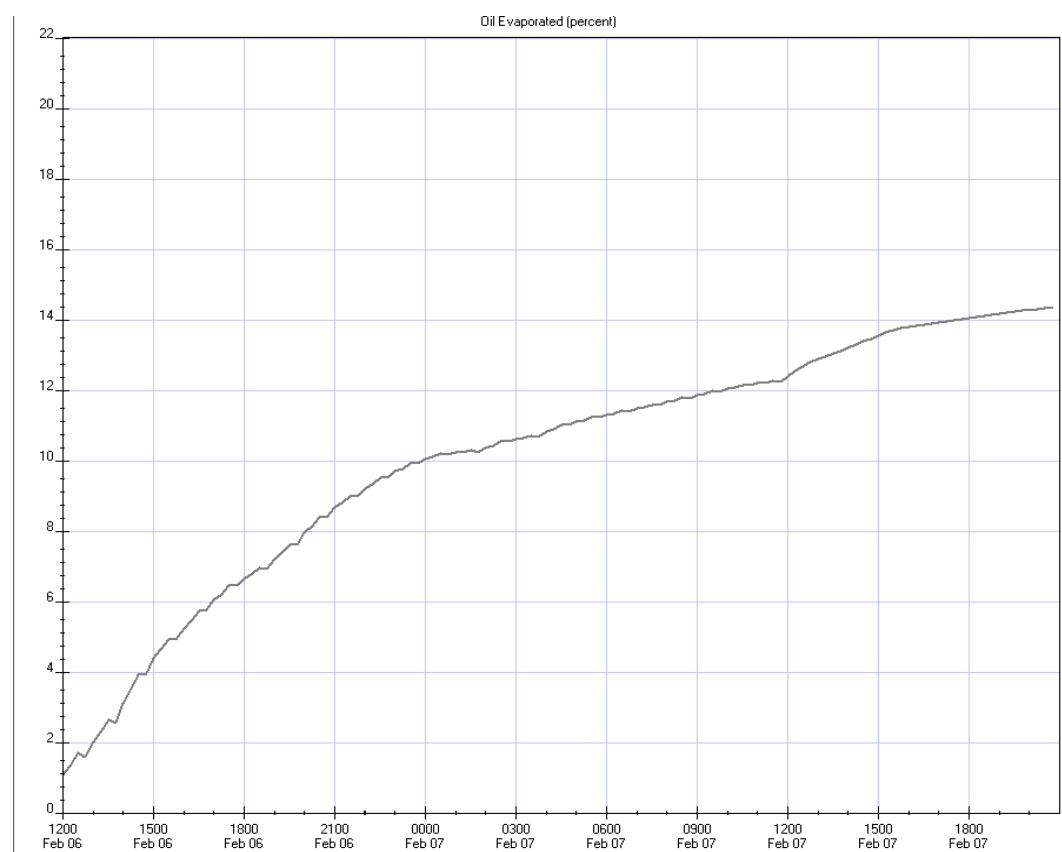
Ακολούθως, παρουσιάζονται γραφικώς τα αποτελέσματα του προγράμματος ADIOS.



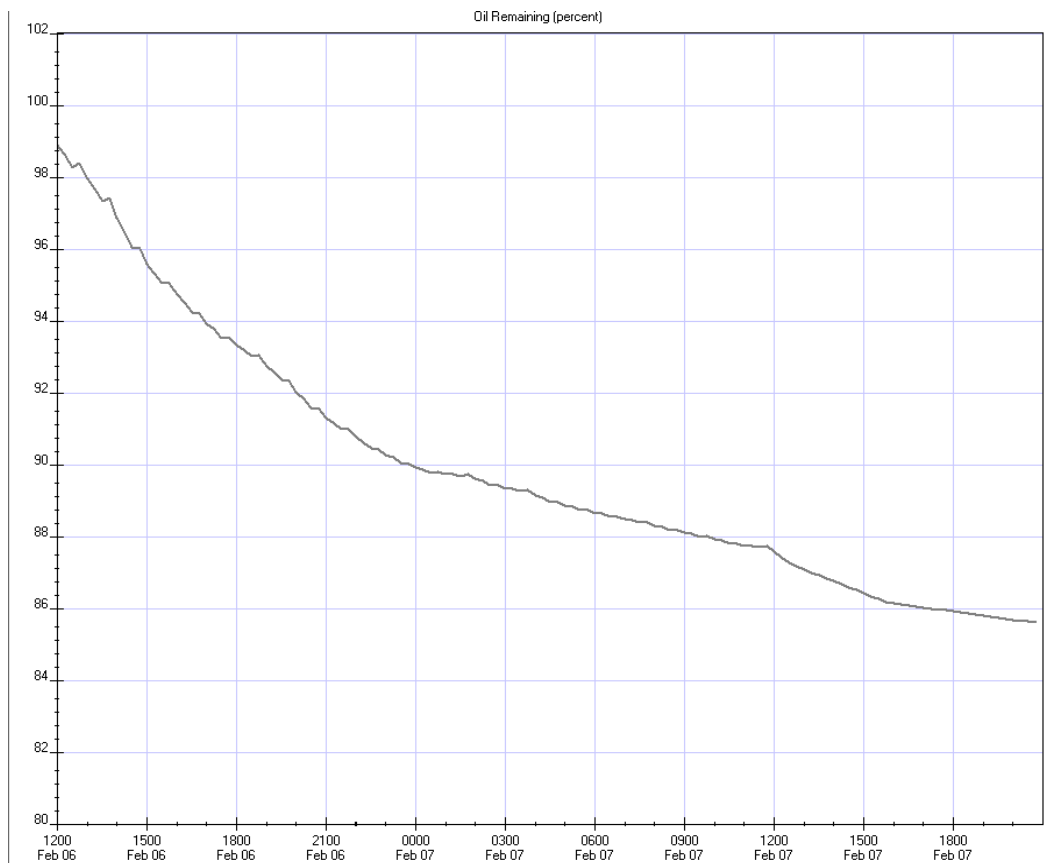
Γράφημα 6.25: Ποσοστά των φυσικοχημικών διεργασιών σε σχέση με τον χρόνο.



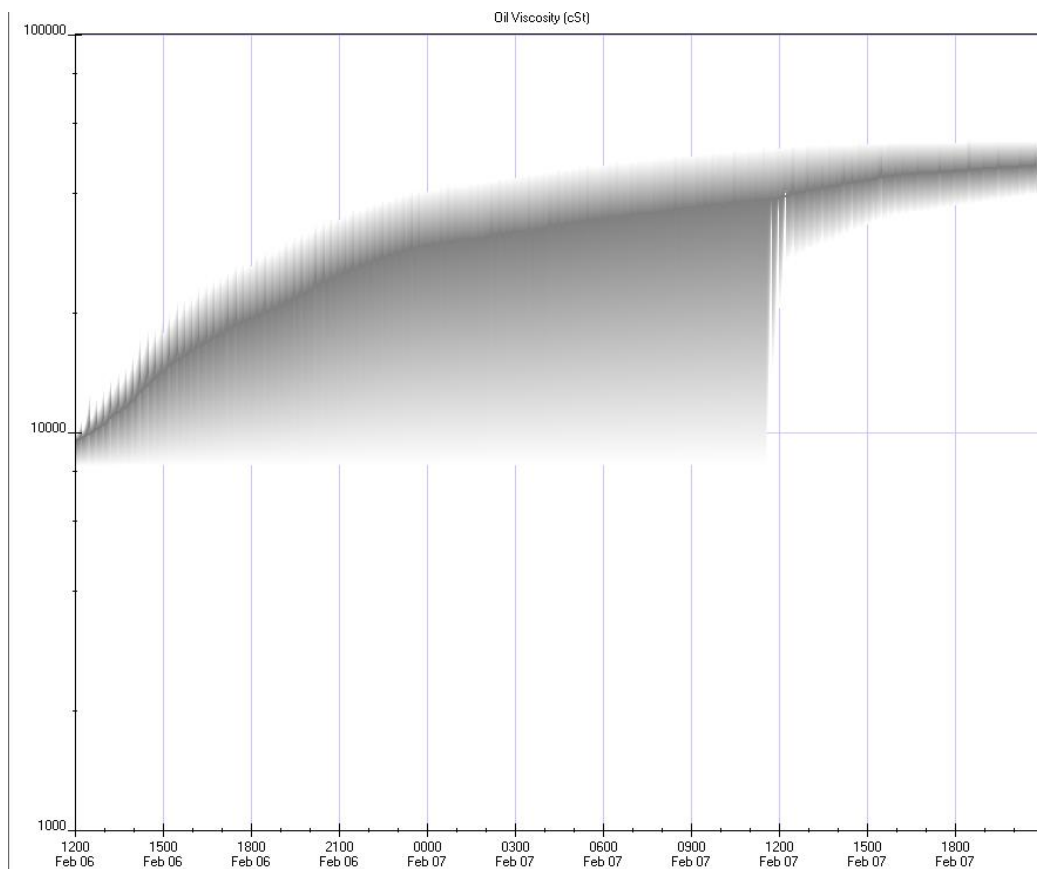
Γράφημα 6.26: Διασπορά του πετρελαίου σε σχέση με τον χρόνο (%).



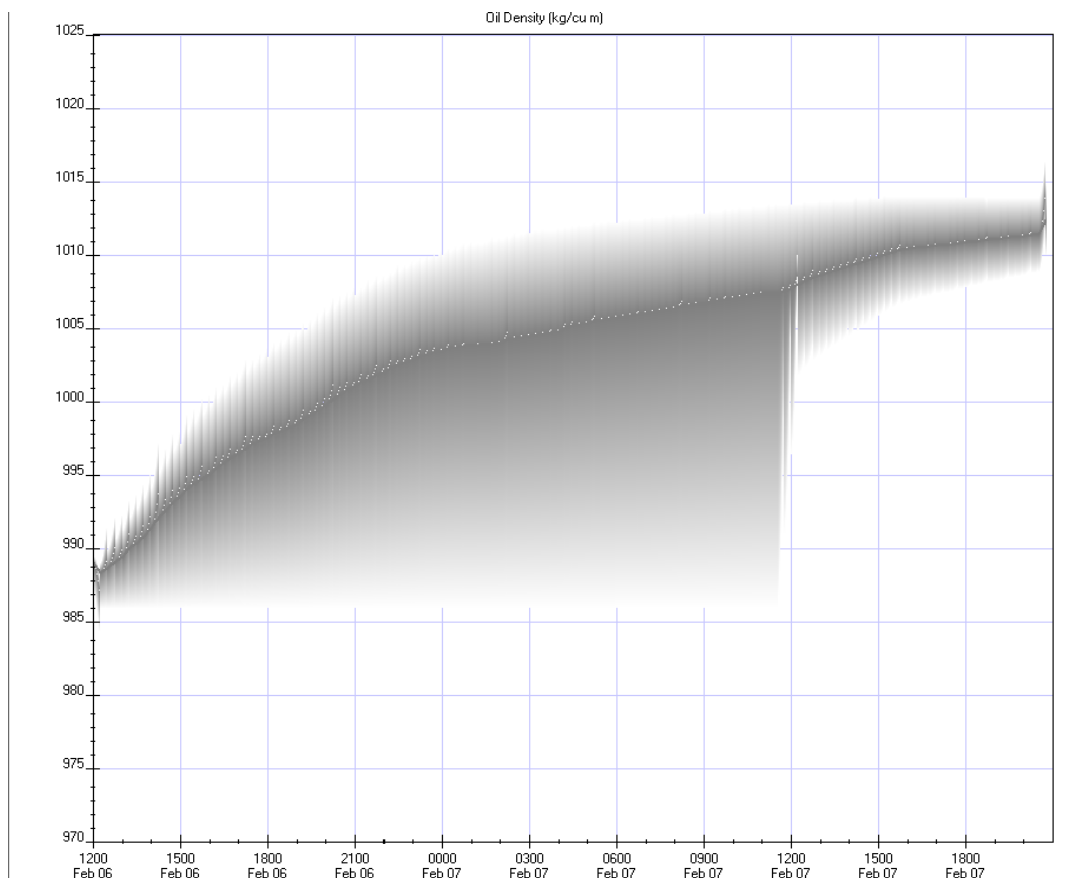
Γράφημα 6.27: Εξάτμιση του πετρελαίου σε σχέση με τον χρόνο (%).



Γράφημα 6.28: Εναπομείναν πετρέλαιο σε σχέση με τον χρόνο (%).



Γράφημα 6.29: Μεταβολή του ιξώδους σε σχέση με τον χρόνο (cSt).



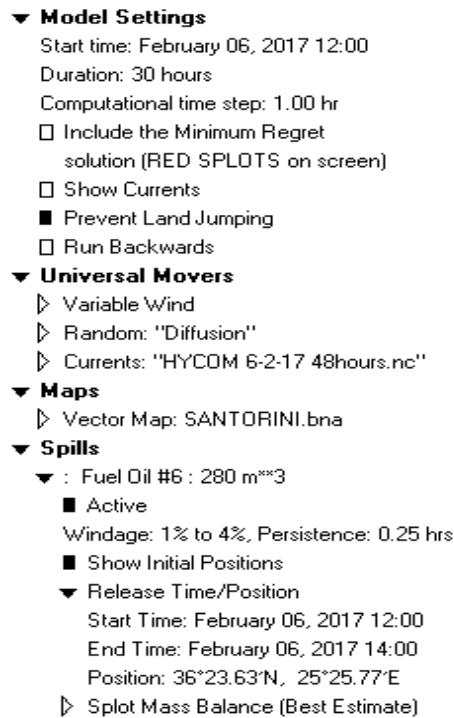
Γράφημα 6.30: Μεταβολή της πυκνότητας σε σχέση με τον χρόνο (kg/m^3).

Τα αποτελέσματα των παραπάνω πινάκων και γραφημάτων είναι πανομοιότυπα με αυτά τόσο της 1^{ης} περίπτωσης του 1^{ου} σεναρίου, όσο και με της 1^{ης} περίπτωσης του 2^{ου}. Αυτό συμβαίνει, εξαιτίας της διαφοροποίησής τους μόνο ως προς τα ανεμολογικά δεδομένα, το οποίο οδηγεί σε μικρές μεταβολές όσον αφορά τις φυσικοχημικές αλλαγές που συμβαίνουν στο πετρέλαιο με την πάροδο του χρόνου.

6.3.2. 2^η περίπτωση

6.3.2.1. Αποτελέσματα GNOME

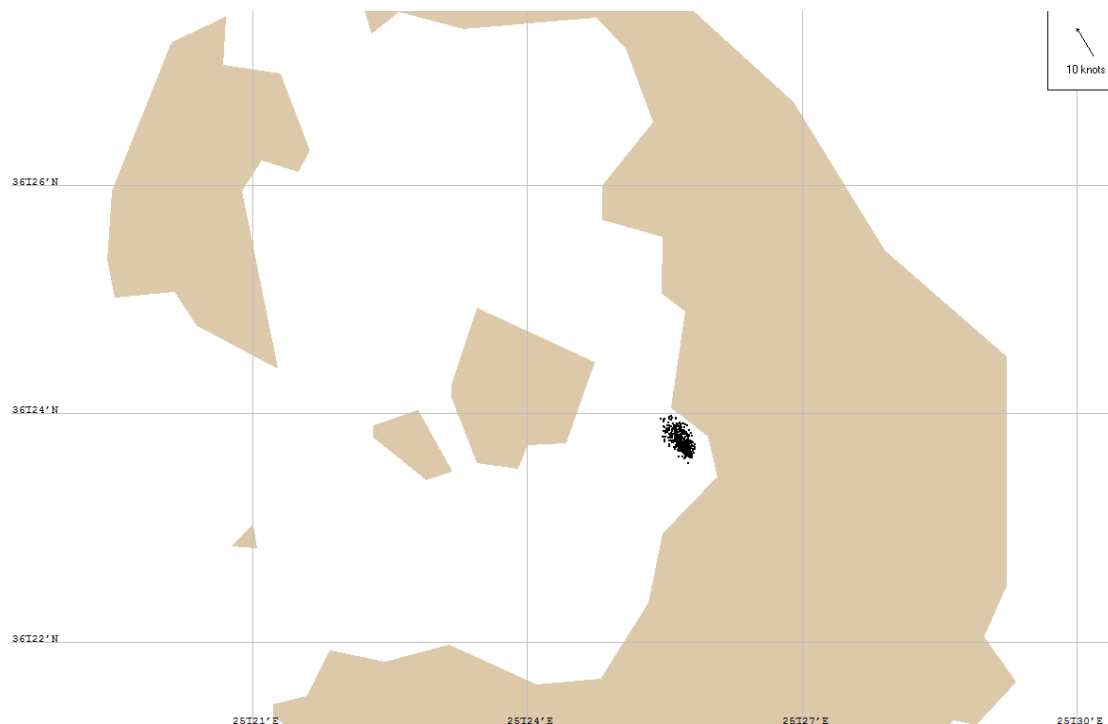
Για τη 2^η περίπτωση η διαρροή του πετρελαίου από το κουφάρι του πλοίου διαρκεί 2 ώρες. Η διαρροή, όπως σε κάθε σενάριο θεωρούμε ότι ξεκινάει στις 12:00.



Εικόνα 6.37: Δεδομένα εισόδου 2^{ης} περίπτωσης του 3^{ου} σεναρίου για το GNOME.

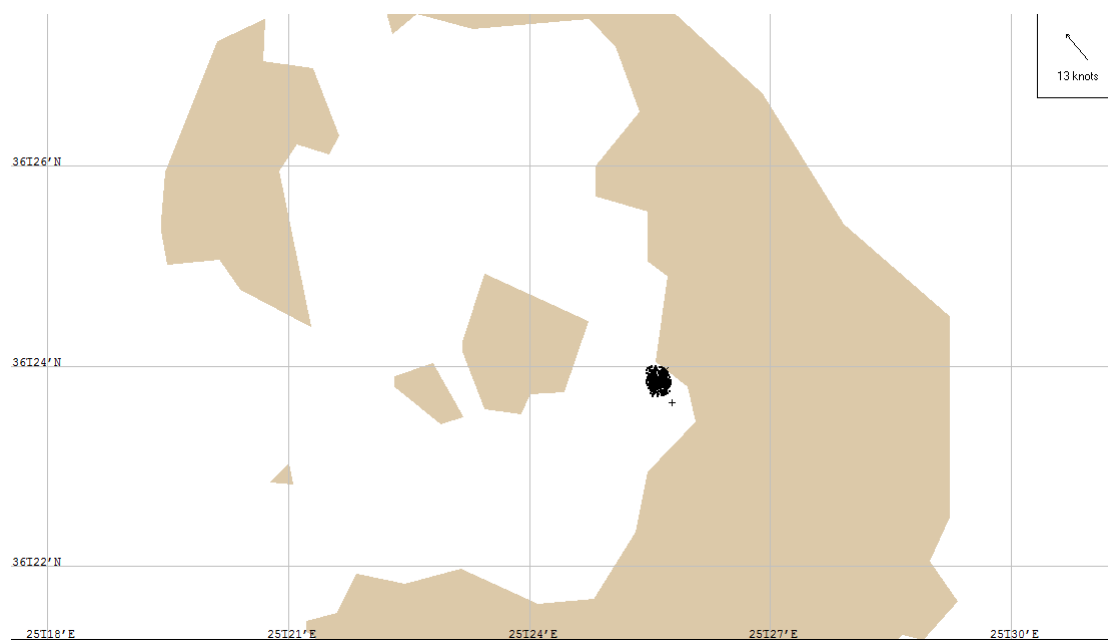
Παρακάτω ακολουθεί η κίνηση της πετρελαιοκηλίδας για συγκεκριμένες χρονικές στιγμές:

- ✓ 13:00 : Την πρώτη ώρα θα έχουν διαρρεύσει 140 m³ (50 % της συνολικής ποσότητας πετρελαίου που βρίσκεται στις δεξαμενές) πετρελαίου HFO (Bunker C ή No 6) από το κουφάρι του πλοίου, όπου με τον άνεμο να έχει κατεύθυνση νοτιοανατολική και ένταση 10 knots, σχεδόν όλη η ποσότητα του πετρελαίου αυτού θα επιπλέει στην θάλασσα (πιο συγκεκριμένα 138 m³). Επίσης, 2 m³ (1,4% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα έχουν εξατμισθεί και διασπαρθεί.



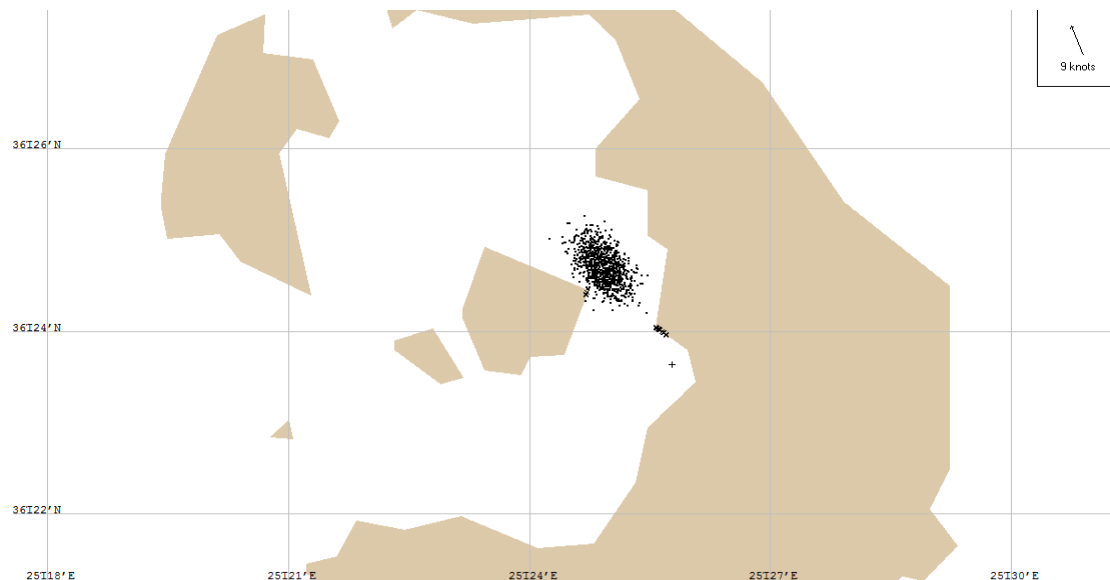
Εικόνα 6.38: Η πετρελαιοκηλίδα στις 13:00 ώρα 6/2/2017.

- ✓ 14:00 : Τις επόμενες 2 ώρες θα έχουν διαρρεύσει 280 m^3 (100% της συνολικής ποσότητας πετρελαίου που βρίσκεται στις δεξαμενές) πετρελαίου από το κουφάρι του πλοίου, όπου με τον άνεμο να έχει κατεύθυνση νοτιοανατολική και ένταση 13 knots, σχεδόν όλη η ποσότητα του πετρελαίου αυτού θα επιπλέει στην θάλασσα (πιο συγκεκριμένα 268 m^3). Από την εναπομείνουσα ποσότητα, 7 m^3 θα βρίσκεται στις ακτές και 5 m^3 (1,8% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα έχει εξατμισθεί και διασπαρθεί.



Εικόνα 6.39: Η πετρελαιοκηλίδα στις 14:00 ώρα 6/2/2017.

18:00 : Έπειτα, 4 ώρες μετά, θα έχουν διαρρεύσει 280 m³ πετρελαίου (100% της συνολικής ποσότητας) όπου με τον άνεμο να έχει κατεύθυνση νοτιοανατολική και ένταση 9 knots, σχεδόν όλη η ποσότητα αυτού θα επιπλέει και πιο συγκεκριμένα 254 m³ (90.8% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει). Επιπλέον, 10 m³ (3,7% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα βρίσκεται στις ακτές και 15 m³ (5,5% της ποσότητας που έχει διαρρεύσει) θα έχει εξατμισθεί και διασπαρθεί.



Εικόνα 6.40: Η πετρελαιοκηλίδα στις 14:00 ώρα 6/2/2017.

- ✓ Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι 30 ώρες μετά την έναρξη της διαρροής 111 m³ πετρελαίου θα βρίσκονται στις ακτές, 115 m³ θα επιπλέουν στην επιφάνεια της θάλασσας και 54 m³ θα έχουν εξατμισθεί και διασπαρθεί. Επιπλέον η ποσότητα που θα βρίσκεται στις ακτές θα τις έχει ρυπάνει περίπου σε μήκος 4400 μέτρων.



Εικόνα 6.41: Η πετρελαιοκηλίδα στις 18:00 ώρα 7/2/2017.

6.3.2.2. Αποτελέσματα ADIOS

Παρακάτω μελετώνται οι φυσικοχημικές αλλαγές που πραγματοποιούνται στην πετρελαιοκηλίδα σε σχέση με το χρόνο.

- ☐ **Oil Type**
 - BUNKER C FUEL OIL
 - Location = none listed
 - Synonyms = RESIDUAL/HEAVY FUEL OIL
 - Product Type = refined
 - API = 12.3
 - Pour Point = 15 deg C
 - Flash Point = 98 deg C
 - Density = 0.982 g/cc at 16 deg C
 - Viscosity = 1292.1 cSt at 16 deg C
 - Adhesion = unknown
 - Aromatics = 55 weight %
 - WARNING! Benzene graph for this product may be unreliable.
- ☐ **Emulsification**
 - Mousse begins to form when 100% of the oil has evaporated.
- ☐ **Wind and Wave Conditions**
 - Variable Wind
 - Winds Start = February 06, 12:00 hours
 - Winds Stop = February 07, 17:00 hours
- ☐ **Water Properties**
 - Temperature = 16 deg C
 - Salinity = 39 ppt
 - Sediment Load = 5 g/m3 (ocean)
 - Current = 0 mph
- ☐ **Release Information**
 - ☐ **Continuous Release**
 - Time of Release = February 06, 1200 hours
 - Amount Spilled = 280 cu m
 - Duration of Release = 2 hours

Εικόνα 6.42: Δεδομένα εισόδου 2^{ης} περίπτωσης του 3^{ου} σεναρίου για το GNOME.

Αρχικά, στον Πίνακα 6.9 καταγράφονται αναλυτικά το ποσοστό του πετρελαίου που έχει εξατμισθεί και διασπαρθεί σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα.

Ημερομηνία	Ώρα	Ποσότητα διαρροής (m ³)	Ποσοστό εξατμισμού (%)	Ποσοστό διασποράς (%)	Ποσοστό που παρέμεινε (%)
Feb 06	13:00	140	0	0	100
	14:00	280	1	0	99
	16:00	280	3	0	97
	18:00	280	5	0	95
	20:00	280	7	0	93
	22:00	280	8	0	92
Feb 07	0:00	280	10	0	90
	6:00	280	12	0	88
	12:00	280	14	0	86
	18:00	280	14	0	86

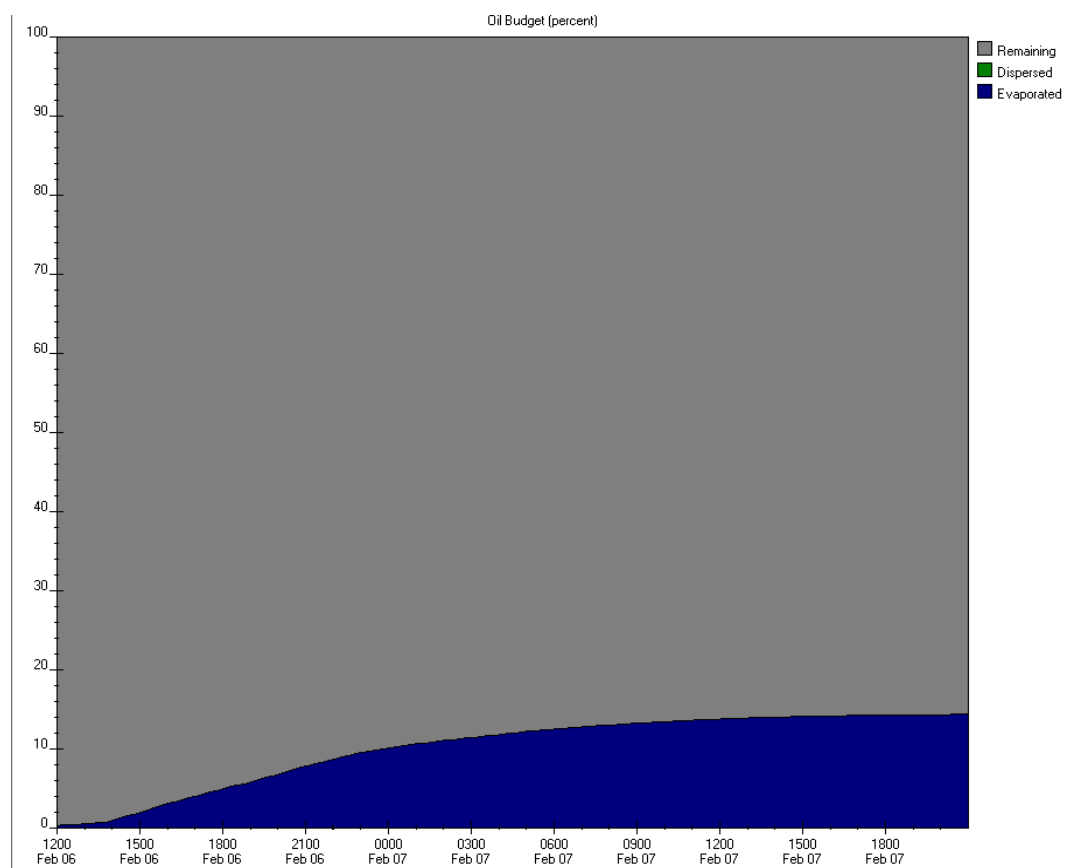
Πίνακας 6.9: Ποσοστιαία αποτελέσματα φυσικοχημικών διεργασιών σε σχέση με τον χρόνο.

Στην συνέχεια, στον παρακάτω πίνακα καταγράφονται τα ποσοτικά αποτελέσματα των φυσικοχημικών διεργασιών.

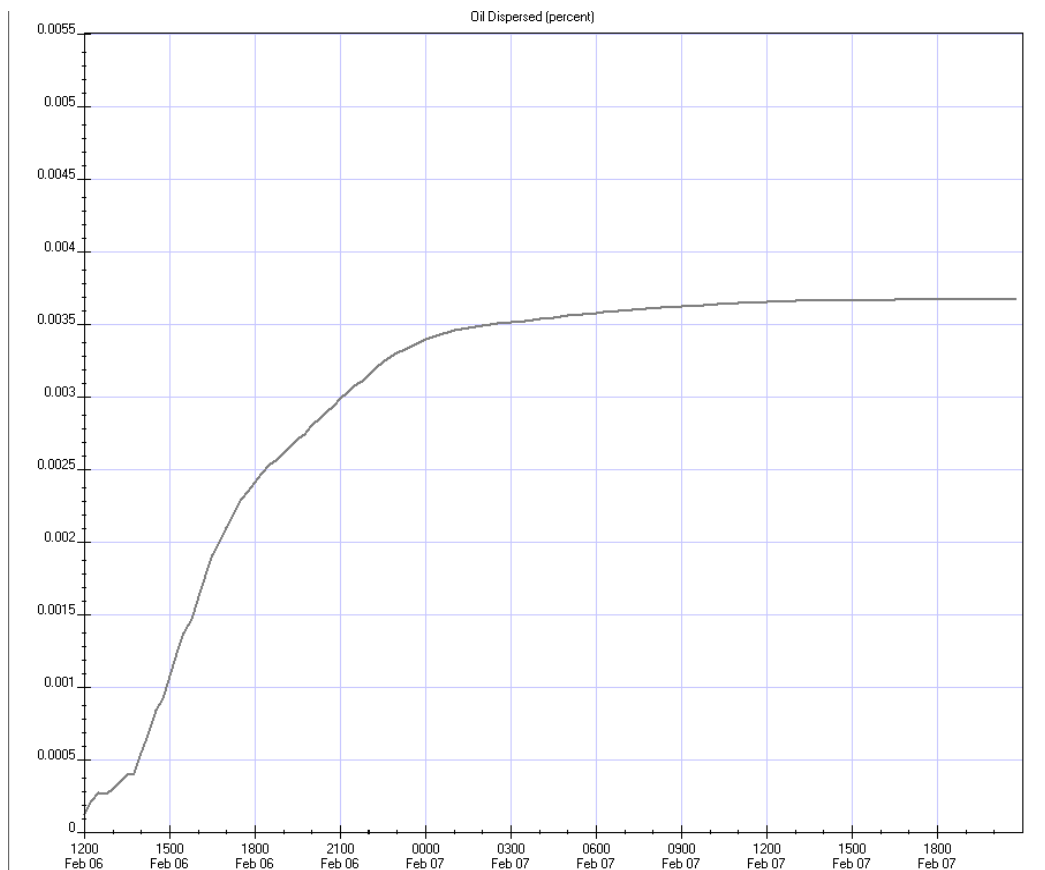
Ημερομηνία	Ώρα	Ποσότητα διαρροής (m ³)	Ποσότητα που εξατμίστηκε (m ³)	Ποσότητα που διαρπάρθηκε (m ³)	Ποσότητα που παρέμεινε (m ³)
Feb 06	13:00	140	1	0	139
	14:00	280	2	0	278
	16:00	280	8	0	272
	18:00	280	13	0	267
	20:00	280	18	0	262
	22:00	280	24	0	256
Feb 07	0:00	280	28	0	252
	6:00	280	35	0	245
	12:00	280	39	0	241
	18:00	280	40	0	240

Πίνακας 6.10: Ποσοτικά αποτελέσματα φυσικοχημικών διεργασιών σε σχέση με τον χρόνο.

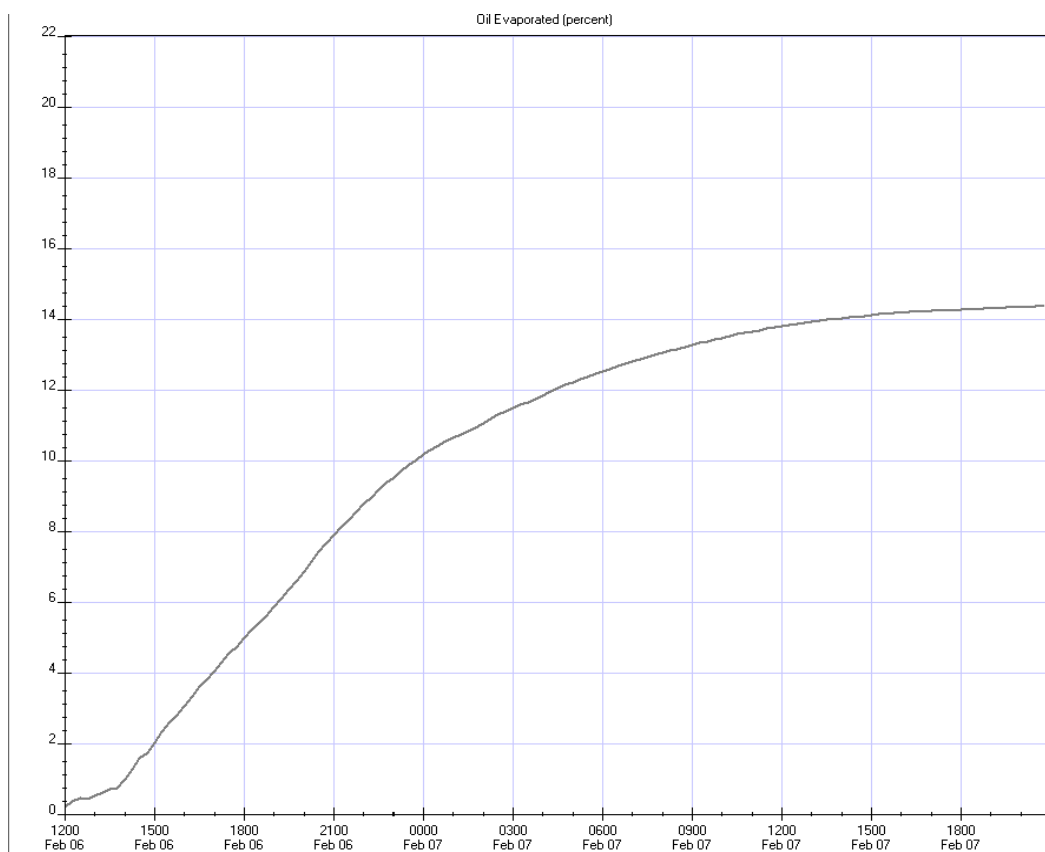
Ακολούθως, παρουσιάζονται γραφικώς τα αποτελέσματα του προγράμματος ADIOS τα οποία αφορούν την εξατμισμό, την διασπορά και το πετρέλαιο που παρέμεινε, καθώς επίσης και την αλλαγή του ιξώδους και της πυκνότητας σε σχέση με τον χρόνο.



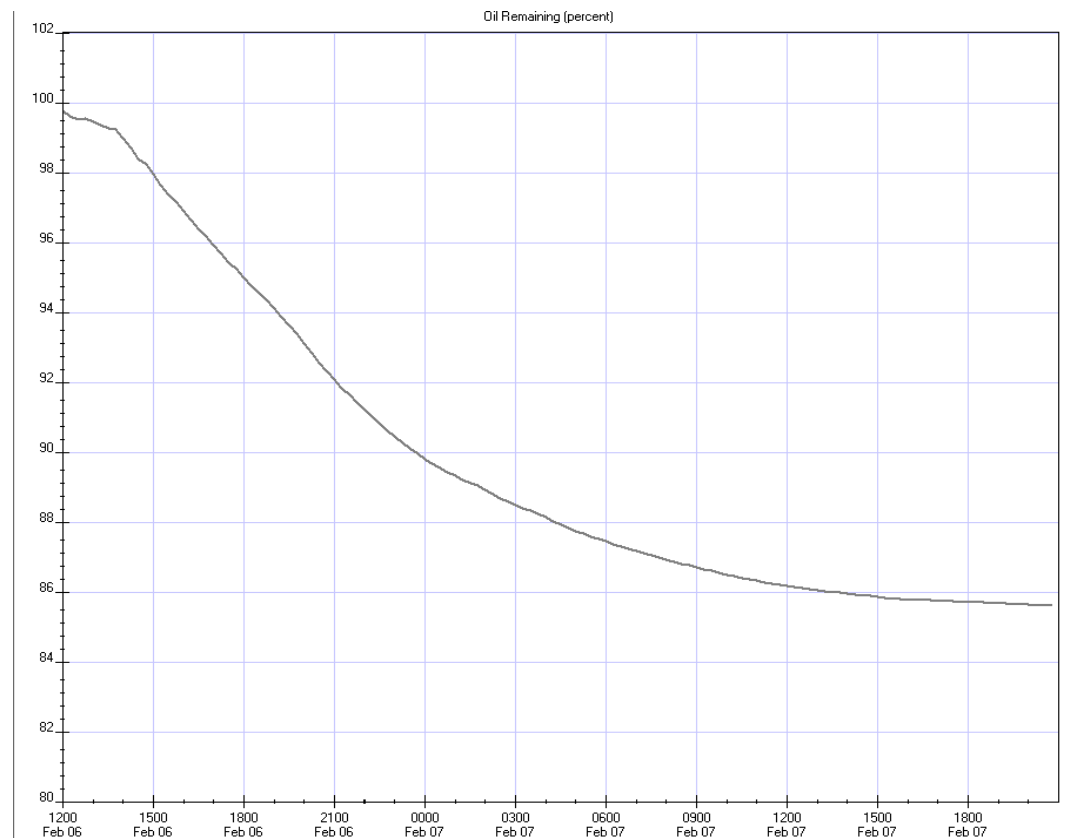
Γράφημα 6.31: Ποσοστά των φυσικοχημικών διεργασιών σε σχέση με τον χρόνο.



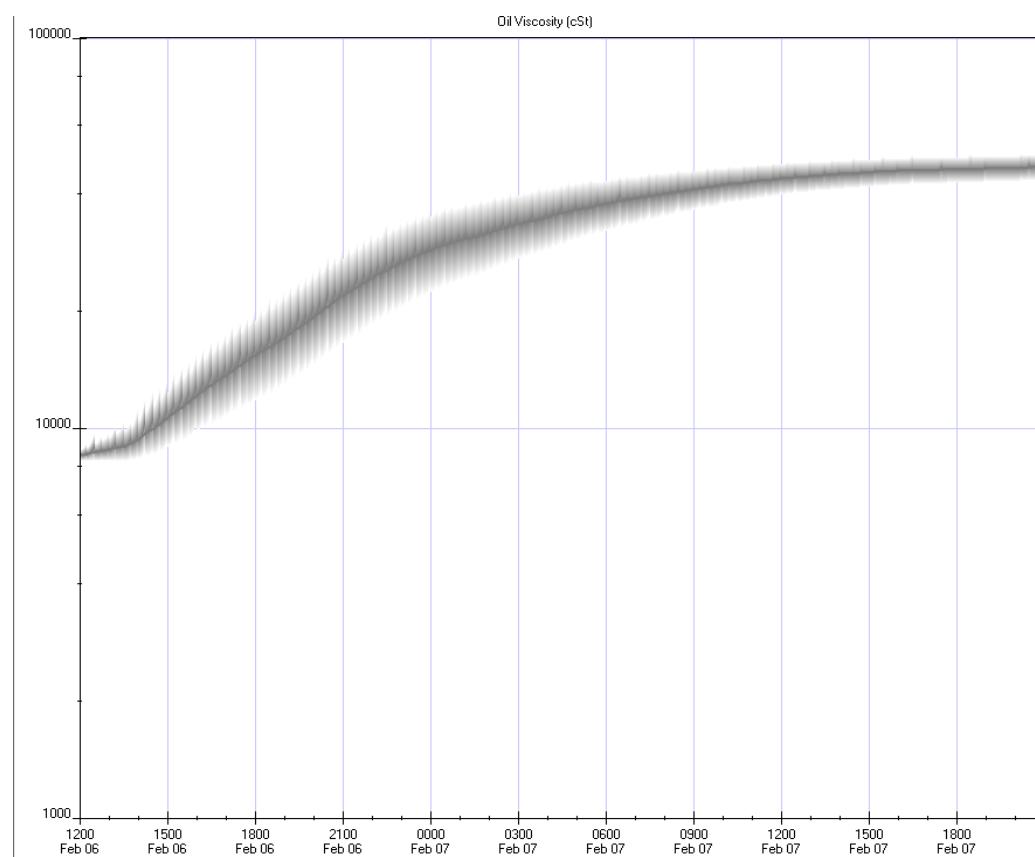
Γράφημα 6.32: Διασπορά του πετρελαίου σε σχέση με τον χρόνο (%).



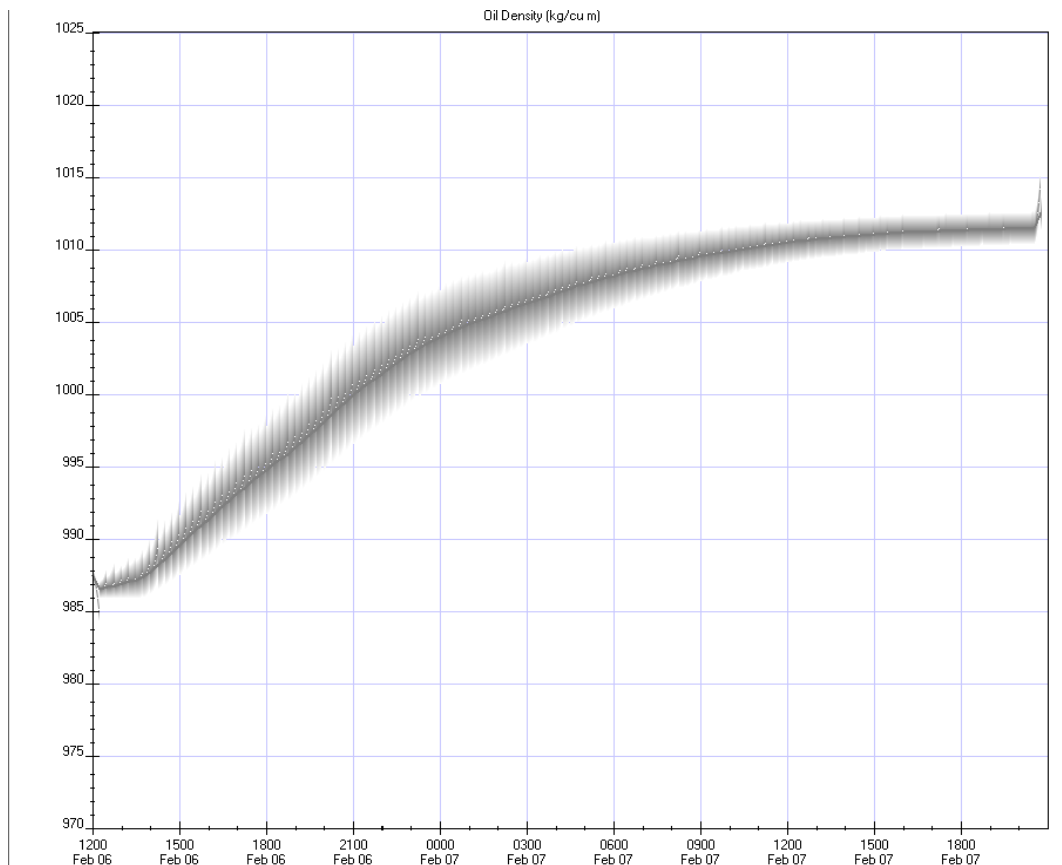
Γράφημα 6.33: Εξάτμιση του πετρελαίου σε σχέση με τον χρόνο (%).



Γράφημα 6.34: Εναπομείναν πετρέλαιο σε σχέση με τον χρόνο (%).



Γράφημα 6.35: Μεταβολή του ιξώδους σε σχέση με τον χρόνο (cSt).



Γράφημα 6.36: Μεταβολή της πυκνότητας σε σχέση με τον χρόνο (kg/m³).

Όπως παρατηρείται, το ποσοστό εξάτμισης είναι λίγο μεγαλύτερο σε σχέση με τα προηγούμενα σενάρια, το οποίο οδηγεί και σε μεγαλύτερη αύξηση της πυκνότητας. Παρόλα αυτά οι διαφορές είναι πολύ μικρές.

6.4. Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Σε αυτή την παράγραφο σχολιάζονται τα αποτελέσματα των σεναρίων που εξετάστηκαν στην παρούσα διπλωματική με τα προγράμματα GNOME και ADIOS.

6.4.1. Σενάριο 1

Αρχικά, στους παρακάτω πίνακες αναγράφονται οι ποσότητες του πετρελαίου (σε παρένθεση αναγράφεται το ποσοστό αυτής σε σχέση με την συνολική ποσότητα) που έχουν διαρρεύσει σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, καθώς επίσης και οι ποσότητες αυτού (σε παρένθεση αναγράφεται το ποσοστό αυτής σε σχέση με την ποσότητα που έχει διαρρεύσει) που αναμένεται να είναι στις ακτές, να παραμένει στην επιφάνεια της θάλασσας, και αυτής που αναμένεται να εξατμισθήκε και να διασπάρθηκε.

Πίνακας 6.11: Αποτελέσματα 1^{ης} περίπτωσης του πρώτου σεναρίου με την χρήση του GNOME.

1 ^Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ						
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Ώρα	Ποσότητα που έχει διαρρεύσει (m ³)	Ποσότητα στις ακτές (m ³)	Ποσότητα που θα επιπλέει (m ³)	Ποσότητα που θα έχει εξατμισθεί και διασπαρθεί (m ³)	Μήκος της ρύπανσης των ακτών (m)
1/2/2017	14:00	22 (8%)	11 (51,2%)	10 (46,3%)	1 (2,5%)	
	18:00	59 (20,9%)	44 (75,1%)	12 (20,1%)	3 (4,8%)	
2/2/2017	0:00	128 (45,8%)	106 (82,8%)	14 (10,9%)	8 (6,3%)	
	6:00	198 (70,8%)	160 (80,5%)	23 (11,4%)	16 (8,1%)	
	12:00	268 (95,8%)	137 (51%)	102 (38,2%)	29 (10,8%)	
	18:00	280 (100%)	178 (63,7%)	62 (22,2%)	39 (14,1%)	1780

Πίνακας 6.12: Αποτελέσματα 1^{ης} περίπτωσης του πρώτου σεναρίου με την χρήση του ADIOS.

1^Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ					
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Ώρα	Ποσότητα Διαρροής (m³)	Ποσότητα Εξάτμισης (m³)	Ποσότητα Διασποράς (m³)	Ποσότητα που παρέμεινε (m³)
1/2/2017	13:00	12	1 (2%)	0 (0%)	11 (98%)
	14:00	23	1 (3%)	0 (0%)	22 (97%)
	18:00	70	4 (6%)	0 (0%)	66 (94%)
2/2/2017	0:00	140	11 (8%)	0 (0%)	129 (92%)
	6:00	210	18 (9%)	0 (0%)	192 (91%)
	12:00	280	26 (9%)	0 (0%)	254 (91%)
	18:00	280	32 (11%)	0 (0%)	248 (89%)

Πίνακας 6.13: Αποτελέσματα 2^{ης} περίπτωσης του πρώτου σεναρίου με την χρήση του GNOME.

2^Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ						
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Ώρα	Ποσότητα που έχει διαρρεύσει (m³)	Ποσότητα στις ακτές (m³)	Ποσότητα που θα επιπλέει (m³)	Ποσότητα που θα έχει εξατμισθεί και διασπαρθεί (m³)	Μήκος της ρύπανσης των ακτών (m)
1/2/2017	13:00	140(50%)	18 (12%)	120 (86,6%)	2 (1,4%)	
	14:00	280(100%)	160 (57,3%)	115 (40,9%)	5 (1,8%)	
	18:00	280(100%)	265 (94,6%)	0	15 (5,4%)	
2/2/2017	18:00	280(100%)	224 (80%)	1 (0,4)	55 (19,6)	800

Πίνακας 6.14: Αποτελέσματα 2^{ης} περίπτωσης του πρώτου σεναρίου με την χρήση του ADIOS.

2 ^Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ					
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Ώρα	Ποσότητα Διαρροής (m ³)	Ποσότητα Εξάτμισης (m ³)	Ποσότητα Διασποράς (m ³)	Ποσότητα που παρέμεινε (m ³)
1/2/2017	13:00	140	1 (0%)	0 (0%)	139 (100%)
	14:00	280	2 (1%)	0 (0%)	278 (99%)
	18:00	280	12 (4%)	0 (0%)	268 (96%)
2/2/2017	18:00	280	35 (13%)	0 (0%)	245 (87%)

Όπως παρατηρείται, στην πρώτη περίπτωση τα αποτελέσματα του προγράμματος GNOME διαφέρουν λίγο, σε σχέση με αυτά του ADIOS. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το ADIOS, έχει μεγαλύτερη ακρίβεια ως προς τον υπολογισμό των φυσικοχημικών διεργασιών του πετρελαίου και για αυτό το λόγο προτείνεται η χρήση του από τη Νοαα (από την οποία αναπτύχθηκε). Επομένως, όσον αφορά την εξάτμιση και την διασπορά θα ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα του ADIOS. Παρόλα αυτά όμως οι διαφορές είναι πολύ μικρές.

Προκύπτει λοιπόν ότι για την 1^η περίπτωση του σεναρίου (όπου η διαρροή διαρκεί 24 ώρες), τις 2 πρώτες ώρες θα έχουν απελευθερωθεί από το κουφάρι του πλοίου 22 m³, από τα οποία τα 11 m³ θα βρίσκονται ήδη στις ακτές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στις συνθήκες που έλαβε χώρα το 1^ο σενάριο, πνέουν στην περιοχή βόρειοι-βορειοδυτικοί άνεμοι. Αυτό σε συνδυασμό με τα ρεύματα αλλά και την θέση που βρίσκεται το πλοίο το οποίο είναι κοντά στην ακτή οδηγεί το πετρέλαιο πολύ γρήγορα προς αυτή. Ακόμα, 4 ώρες μετά θα έχουν απελευθερωθεί 60 m³ πετρελαίου περίπου, όπου το 75% αυτού θα βρίσκεται στις ακτές. Το ίδιο συμβαίνει και 30 ώρες μετά την έναρξη της διαρροής όπου θα βρίσκονται στις ακτές 178 m³ πετρελαίου σε μήκος 1780 μέτρων. Επομένως, είναι εμφανές ότι με τα ρεύματα και τους ανέμους που επικρατούν στην περιοχή, η ρύπανση των ακτών είναι βέβαιη εάν δεν ληφθούν σε λιγότερο από 2 ώρες τα κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισης.

Ακολουθώντας, για την 2^η περίπτωση του 1^{ου} σεναρίου, παρατηρείται προφανώς ότι η ποσότητα που έχει διαρρεύσει σε κάθε χρονικό διάστημα είναι σαφώς μεγαλύτερη σε σχέση με την 1^η περίπτωση, το οποίο είναι αναμενόμενο καθώς ο χρόνος της διαρροής είναι μικρότερος σε σχέση με την 1^η περίπτωση.

Για παράδειγμα, την πρώτη ώρα θα έχουν απελευθερωθεί 140 m³ από τα οποία τα 18 m³ θα απλώνονται στις ακτές, ενώ σε μόλις 2 ώρες όπου θα έχει απελευθερωθεί όλη η

ποσότητα, θα έχει καταλήξει ήδη στις ακτές περισσότερη από την μισή ποσότητα του πετρελαίου.

Τέλος, 30 ώρες μετά την έναρξη της διαρροής, οι ακτές θα έχουν ρυπανθεί σε μήκος 800 περίπου μέτρων, το οποίο είναι μικρότερο σε σχέση με την 1^η περίπτωση.

Είναι εμφανές λοιπόν, ότι για μικρό χρόνο διαρροής τα καύσιμα καταλήγουν γρηγορότερα στις ακτές, αλλά το μήκος της ρύπανσης σε αυτές είναι σαφώς μικρότερο από ότι στην περίπτωση του μεγάλου χρόνου διαρροής. Παρόλα αυτά, εάν ο χρόνος που χρειάζεται η συνολική ποσότητα του πετρελαίου για να διαρρεύσει είναι πολύ μικρός, τότε σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα απελευθερώνονται τεράστιες ποσότητες καυσίμου. Επομένως, μέχρι να αντιδράσουν κατάλληλα οι αρμόδιοι φορείς, είναι πολύ πιθανόν να έχουν ρυπανθεί ήδη οι ακτές με μεγάλες ποσότητες πετρελαίου, όπως φάνηκε άλλωστε στην 2^η περίπτωση όπου σε διάστημα 2 ωρών θα έχουν ρυπάνει τις ακτές περίπου 140 m³ Heavy Fuel Oil.

Τέλος, όπως αναμενόταν λόγω του είδους του πετρελαίου, το ποσοστό εξάτμισης μετά από 30 ώρες είναι πολύ χαμηλό και κάτω από 14% και για τις 2 περιπτώσεις, ενώ το ποσοστό διασποράς είναι μηδενικό.

6.4.2. Σενάριο 2

Στον Πίνακα 6.15 που ακολουθεί καταγράφεται η ποσότητα του πετρελαίου που έχει διαρρεύσει και σε παρένθεση αναγράφεται το ποσοστό αυτής σε σχέση με την συνολική ποσότητα. Επίσης, παρουσιάζεται η ποσότητα του καυσίμου που καταλήγει στις ακτές, που παραμένει στην επιφάνεια της θάλασσας καθώς και αυτή που εξατμίζεται και διασπείρεται (σε παρένθεση αναγράφεται το ποσοστό αυτής σε σχέση με την ποσότητα που έχει διαρρεύσει).

Πίνακας 6.15: Αποτελέσματα 1^{ης} περίπτωσης του δεύτερου σεναρίου με την χρήση του GNOME.

1 ^Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ						
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Ωρα	Ποσότητα που έχει διαρρεύσει (m ³)	Ποσότητα στις ακτές (m ³)	Ποσότητα που θα επιπλέει (m ³)	Ποσότητα που θα έχει εξατμισθεί και διασπαρθεί (m ³)	Μήκος της ρύπανσης των ακτών (m)
3/2/2017	14:00	22 (2,8%)	13 (60%)	8 (37,5%)	1 (2,5%)	
	18:00	59 (20,9%)	42 (72,2%)	13 (23%)	3 (4,8%)	
4/2/2017	0:00	128 (45,8%)	109 (84,7%)	11 (9%)	8 (6,3%)	
	6:00	198 (70,8%)	174 (87,7%)	8 (4,2%)	16 (8,1%)	
	12:00	268 (95,8)	237 (95,8%)	3 (1%)	29 (10,8%)	
	18:00	280 (100%)	241 (85,9%)	0	39 (14,1)	850

Πίνακας 6.16: Αποτελέσματα 1^{ης} περίπτωσης του δεύτερου σεναρίου με την χρήση του ADIOS.

1^Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ					
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Ώρα	Ποσότητα Διαρροής (m³)	Ποσότητα Εξάτμισης (m³)	Ποσότητα Διασποράς (m³)	Ποσότητα που παρέμεινε (m³)
3/2/2017	13:00	12	1 (2%)	0 (0%)	11 (98%)
	14:00	23	1 (3%)	0 (0%)	22 (97%)
4/2/2017	18:00	70	4 (6%)	0 (0%)	66 (94%)
	0:00	140	11 (8%)	0 (0%)	129 (92%)
	6:00	210	19 (9%)	0 (0%)	191 (91%)
	12:00	280	29 (10%)	0 (0%)	251 (90%)
	18:00	280	37 (13%)	0 (0%)	243 (87%)

Πίνακας 6.17: Αποτελέσματα 2^{ης} περίπτωσης του δεύτερου σεναρίου με την χρήση του GNOME.

2^Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ						
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Ώρα	Ποσότητα που έχει διαρρεύσει (m³)	Ποσότητα στις ακτές (m³)	Ποσότητα που θα επιπλέει (m³)	Ποσότητα που θα έχει εξατμισθεί και διασπαρθεί (m³)	Μήκος της ρύπανσης των ακτών (m)
3/2/2017	13:00	140(50%)	31(22,2%)	107(76,4%)	2(1,4%)	
	14:00	280(100%)	172(61,4%)	103(36,8%)	5(1,8%)	
	18:00	280(100%)	255(91%)	10(3,5%)	15(5,5%)	
4/2/2017	18:00	280(100%)	226(80,6%)	0	54 (19,4%)	630

Πίνακας 6.18: Αποτελέσματα 2^{ης} περίπτωσης του δεύτερου σεναρίου με την χρήση του ADIOS.

2 ^Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ					
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Ώρα	Ποσότητα Διαρροής (m ³)	Ποσότητα Εξάτμισης (m ³)	Ποσότητα Διασποράς (m ³)	Ποσότητα που παρέμεινε (m ³)
3/2/2017	13:00	140	0 (0%)	0 (0%)	140 (100%)
	14:00	280	2 (1%)	0 (0%)	278 (99%)
	18:00	280	11 (4%)	0 (0%)	269 (96%)
4/2/2017	18:00	280	38 (13%)	0%	242 (87%)

Γίνεται αντιληπτό όπως και στο προηγούμενο σενάριο, ότι για την πρώτη περίπτωση τα αποτελέσματα που δίνει το πρόγραμμα GNOME διαφέρουν λίγο σε σχέση με αυτά του ADIOS

Εξετάζοντας έπειτα τα αποτελέσματα, παρατηρείται ότι για την 1^η περίπτωση του σεναρίου (όπου η διαρροή διαρκεί 24 ώρες), τις 2 πρώτες ώρες θα έχουν απελευθερωθεί από το κουφάρι του πλοίου 22 m³, από τα οποία τα 13 m³ θα βρίσκονται ήδη στις ακτές. Αυτό, όπως και στο προηγούμενο σενάριο, οφείλεται στα ανεμολογικά δεδομένα, τα οποία αφορούσαν ανέμους με κατεύθυνση νότια - νοτιοδυτική. Αυτό σε συνδυασμό με τα ρεύματα αλλά και την θέση που βρίσκεται το πλοίο το οποίο είναι κοντά στην ακτή οδηγεί το πετρέλαιο πολύ γρήγορα προς αυτή. Ακόμα, 4 ώρες μετά θα έχουν απελευθερωθεί 60 m³ πετρελαίου περίπου, όπου το 72,2% αυτού θα απλώνεται στις ακτές. Το ίδιο συμβαίνει και 30 ώρες μετά την έναρξη της διαρροής, όπου θα έχουν καταλήξει στις ακτές 241 m³ πετρελαίου, καλύπτοντας μήκος περίπου 850 μέτρων αυτής. Επομένως, είναι εμφανές ότι με τα ρεύματα και τους ανέμους που επικρατούν στην περιοχή και για αυτό το σενάριο, η ρύπανση των ακτών είναι βέβαιη εάν δεν ληφθούν γρήγορα τα κατάλληλα μέτρα.

Ακολούθως όπως και προηγουμένως, για την 2^η περίπτωση η ποσότητα που έχει διαρρεύσει σε κάθε χρονικό διάστημα είναι σαφώς μεγαλύτερη σε σχέση με την 1^η περίπτωση, το οποίο είναι αναμενόμενο, καθώς ο χρόνος της διαρροής είναι πολύ μικρότερος σε σχέση με την 1^η περίπτωση.

Για παράδειγμα, την πρώτη ώρα θα έχουν απελευθερωθεί 140 m³ από τα οποία τα 31 m³ θα βρίσκονται στις ακτές, ενώ σε μόλις 2 ώρες όπου θα έχει απελευθερωθεί όλη η ποσότητα, θα βρίσκεται ήδη στις ακτές περισσότερη από την μισή ποσότητα του πετρελαίου.

Επίσης, 30 ώρες μετά την έναρξη, οι ακτές θα έχουν ρυπανθεί σε μήκος 630 μέτρων περίπου, λιγότερο από το αντίστοιχο της 1^{ης} περίπτωσης.

Και στο 2^ο σενάριο λοιπόν διαπιστώνεται ότι για μικρό χρόνο διαρροής τα καύσιμα καταλήγουν γρηγορότερα στις ακτές, αλλά το μήκος της ρύπανσης σε αυτές είναι σαφώς μικρότερο από ότι στην περίπτωση του μεγάλου χρόνου διαρροής. Παρόλα αυτά όπως ήδη έχει αναφερθεί, όταν ο χρόνος που χρειάζεται η συνολική ποσότητα του πετρελαίου για να διαρρεύσει είναι μικρός, τότε σε μικρό χρονικό διάστημα θα απελευθερώνονται τεράστιες ποσότητες καυσίμου. Επομένως, μέχρι να αντιδράσουν κατάλληλα οι αρμόδιοι φορείς, είναι πολύ πιθανόν να έχουν ρυπανθεί ήδη οι ακτές με μεγάλες ποσότητες πετρελαίου, όπως είδαμε άλλωστε στην 2^η περίπτωση όπου σε διάστημα 2 ωρών θα έχουν απλωθεί στις ακτές περίπου 157 m³ Heavy Fuel Oil.

Τέλος, παρατηρείται ότι λόγω του είδους του πετρελαίου, το ποσοστό εξάτμισης μετά από 30 ώρες είναι πολύ χαμηλό και κάτω από 14% και για τις 2 περιπτώσεις, ενώ το ποσοστό διασποράς είναι μηδενικό.

6.4.3. Σενάριο 3

Στον Πίνακα 6.19 που ακολουθεί καταγράφεται η ποσότητα του πετρελαίου που έχει διαρρεύσει και σε παρένθεση αναγράφεται το ποσοστό αυτής σε σχέση με την συνολική ποσότητα. Επίσης, παρουσιάζεται η ποσότητα του καυσίμου που καταλήγει στις ακτές, που παραμένει στην επιφάνεια της θάλασσας καθώς και αυτή που εξατμίζεται και διασπείρεται (σε παρένθεση αναγράφεται το ποσοστό αυτής σε σχέση με την ποσότητα που έχει διαρρεύσει).

Πίνακας 6.19: Αποτελέσματα 1^{ης} περίπτωσης του τρίτου σεναρίου με την χρήση του GNOME.

1 ^η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 3 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ						
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Ωρα	Ποσότητα που έχει διαρρεύσει (m ³)	Ποσότητα στις ακτές (m ³)	Ποσότητα που θα επιπλέει (m ³)	Ποσότητα που θα έχει εξατμισθεί και διασπαρθεί (m ³)	Μήκος της ρύπανσης των ακτών (m)
6/2/2017	14:00	22 (8%)	1 (3,8%)	21 (93,8%)	1 (2,5%)	
	18:00	59 (20,9%)	4 (6,2%)	52 (89%)	3 (4,8%)	
7/2/2017	0:00	128 (45,8%)	104 (80,8%)	17 (9%)	8 (6,3%)	
	6:00	198 (70,8%)	132 (66,5%)	50 (25,4%)	16 (8,1%)	
	12:00	268 (95,8)	189 (70,5%)	50 (18,8%)	29 (10,8%)	
	18:00	280 (100%)	143 (50,9%)	98 (35%)	39 (14,1)	10640

Πίνακας 6.20: Αποτελέσματα 1^{ης} περίπτωσης του τρίτου σεναρίου με την χρήση του **ADIOS**.

1^Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 3^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ					
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Ωρα	Ποσότητα Διαρροής (m³)	Ποσότητα Εξάτμισης (m³)	Ποσότητα Διασποράς (m³)	Ποσότητα που παρέμεινε (m³)
6/2/2017	13:00	12	1 (2%)	0	11 (98%)
	14:00	23	2 (4%)	0	21 (96%)
	18:00	70	5 (7%)	0	65 (93%)
7/2/2017	0:00	140	14 (10%)	0	126 (90%)
	6:00	210	24 (11%)	0	186 (89%)
	12:00	280	34 (12%)	0	246 (88%)
	18:00	280	39 (14%)	0	241 (86%)

Πίνακας 6.21: Αποτελέσματα 2^{ης} περίπτωσης του τρίτου σεναρίου με την χρήση του **GNOME**.

2^Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 3^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ						
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Ωρα	Ποσότητα που έχει διαρρεύσει (m³)	Ποσότητα στις ακτές (m³)	Ποσότητα που θα επιπλέει (m³)	Ποσότητα που θα έχει εξατμισθεί και διασπαρθεί (m³)	Μήκος της ρύπανσης των ακτών (m)
6/2/2017	13:00	140(50%)	0	138(98,6%)	2(1,4%)	
	14:00	280(100%)	7(2,6%)	268(95,6%)	5(1,8%)	
	18:00	280(100%)	10(3,7%)	254(90,8%)	15(5,5%)	
7/2/2017	18:00	280(100%)	115(41,1%)	111(39,5%)	54 (19,4%)	4400

Πίνακας 6.22: Αποτελέσματα 2^{ης} περίπτωσης του τρίτου σεναρίου με την χρήση του **ADIOS**.
2^Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 3^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Ώρα	Ποσότητα Διαρροής (m ³)	Ποσότητα Εξατμισμού (m ³)	Ποσότητα Διασποράς (m ³)	Ποσότητα που παρέμεινε (m ³)
6/2/2017	13:00	140	0 (0%)	0	140 (100%)
	14:00	280	2 (1%)	0	278 (99%)
	18:00	280	13 (5%)	0	267 (95%)
7/2/2017	18:00	280	40 (14%)	0	240 (86%)

Όπως παρατηρείται στην 1^η περίπτωση του σεναρίου (όπου η διαρροή διαρκεί 24 ώρες), τις 2 πρώτες ώρες θα έχουν απελευθερωθεί από το κουφάρι του πλοίου 22 m³, από τα οποία μόνο το 1 m³ θα εκτείνεται στις ακτές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στις συγκεκριμένες συνθήκες που έλαβε χώρα το 3^ο σενάριο, πνέουν στην περιοχή νοτιοανατολικοί άνεμοι. Αυτό σε συνδυασμό με τα ρεύματα αλλά και την θέση που βρίσκεται το πλοίο δεν επιτρέπει στα πετρελαιοειδή να οδηγηθούν γρήγορα προς τις ακτές. Ακόμα, 4 ώρες μετά που θα έχουν απελευθερωθεί 60 m³ πετρελαίου περίπου, μόνο το 6,2% αυτού αναμένεται να απλώνεται στις ακτές. Αντίθετα, 30 ώρες μετά την έναρξη της διαρροής αναμένεται να έχουν καταλήξει στις ακτές 143 m³ πετρελαίου σε μήκος 10640 μέτρων. Επομένως, είναι εμφανές ότι με τα δεδομένα των ρευμάτων και των ανέμων που επικρατούν στην περιοχή, η ρύπανση των ακτών μπορεί μεν να μην είναι τόσο γρήγορη από την στιγμή που θα απελευθερωθούν τα καύσιμα στην επιφάνεια της θάλασσας, παρόλα αυτά εάν δεν υπάρξει γρήγορη αντιμετώπιση, μπορεί να ρυπανθεί τεράστιο μέρος των ακτών.

Ακολούθως και για την 2^η περίπτωση και του 3^{ου} σεναρίου προφανώς η ποσότητα που έχει διαρρεύσει σε κάθε χρονικό διάστημα, είναι σαφώς μεγαλύτερη σε σχέση με την 1^η περίπτωση, το οποίο είναι το αναμενόμενο.

Για παράδειγμα, την πρώτη ώρα θα έχουν απελευθερωθεί 140 m³ τα οποία όλα θα βρίσκονται στην επιφάνεια της θάλασσας εκτός από μόλις 2 m³ τα οποία αναμένεται να έχουν εξατμισθεί, ενώ σε μόλις 2 ώρες όπου θα έχει απελευθερωθεί όλη η ποσότητα, θα απλώνεται ήδη μια μικρή ποσότητα στην ακτή.

Ακόμα, 30 ώρες μετά την έναρξη, οι ακτές θα έχουν ρυπανθεί σε 4400 μέτρα.

Τέλος, όπως αναμενόταν λόγω του είδους του πετρελαίου, το ποσοστό εξάτμισης μετά από 30 ώρες είναι πολύ χαμηλό και κάτω από 14% και για τις 2 περιπτώσεις, ενώ το ποσοστό διασποράς είναι μηδενικό.

6.5. Σύγκριση σεναρίων

Όπως έχει αναφερθεί τα δύο πρώτα σενάρια αφορούν ανεμολογικά δεδομένα τα οποία είναι πιο σύνηθες για την περιοχή. Σε αυτά τα δύο, τα αποτελέσματα είναι παρόμοια και δείχνουν ότι οι ποσότητες που θα απελευθερωθούν θα φτάσουν αρκετά γρήγορα στις ακτές. Επομένως θα πρέπει να αντιδράσουν πολύ γρήγορα οι αρμόδιες αρχές για να το αποτρέψουν.

Στο πρώτο σενάριο οι ακτές αναμένεται να ρυπανθούν σε μεγαλύτερο μήκος, σε σχέση με το δεύτερο, το οποίο όμως οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την διάρκεια της διαρροής μεταβάλλεται η κατεύθυνση του ανέμου για μικρό χρονικό διάστημα σε ανατολικό και νοτιοδυτικό με αποτέλεσμα να μεταφέρει το πετρέλαιο σε μεγαλύτερο μήκος των ακτών.

Έπειτα το τρίτο σενάριο περιλαμβάνει ανεμολογικά δεδομένα τα οποία έχουν μικρότερο ποσοστό εμφάνισης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σε σχέση με τα άλλα δύο σενάρια, η ποσότητα του πετρελαίου που διαρρέει, να αργεί αισθητά να φθάσει στις ακτές το οποίο είναι αρκετά θετικό. Παρόλα αυτά όταν αυτό φθάσει στις ακτές, τις καλύπτει σε πολύ μεγαλύτερο μήκος σε σχέση με τα άλλα δύο σενάρια. Αυτό είναι πολύ επικίνδυνο καθώς εάν η διαρροή ξεκινήσει τις νυχτερινές ώρες για παράδειγμα, τότε το πετρέλαιο έως ότου ξημερώσει θα έχει ήδη ταξιδέψει σε πολύ μεγάλη απόσταση και πολύ πιθανόν να έχει ήδη ρυπάνει ένα μεγάλο κομμάτι των ακτών.

Κάτι τέτοιο θα είχε πολύ μεγάλες συνέπειες, καθώς οι επιπτώσεις είναι πολύ μεγάλες, τόσο οικονομικά (ο δύσκολος καθαρισμός των ακτών και ανάκτηση του πετρελαίου, επιρροή εμπορικών δραστηριοτήτων κτλ) όσο και στο θαλάσσιο οικοσύστημα (τοξικές επιδράσεις στους οργανισμούς, θάνατος θαλάσσιων πουλιών, βιοσυσσώρευση κτλ). Επίσης, όπως αναφέρει και το κεφάλαιο 3.3, ο καθαρισμός των ακτών για αυτού του τύπου πετρέλαιο, είναι πολύ δύσκολος κάτω από όλες τις συνθήκες.

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και προτάσεις

Συμπεράσματα:

Στην παρούσα εργασία έγινε χρήση των προγραμμάτων GNOME και ADIOS, ώστε να διερευνηθεί η πορεία που αναμένεται να ακολουθήσει το πετρέλαιο με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια. Πέρα από την πορεία όμως εξήχθησαν και συμπεράσματα όσον αφορά τις φυσικοχημικές του ιδιότητες σε σχέση με την πάροδο του χρόνου.

Για όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα έγινε η χρήση τριών σεναρίων με δύο περιπτώσεις το καθένα, ούτως ώστε να καλυφθεί ένα σημαντικό εύρος συνθηκών που είναι πιθανόν να λάβουν χώρα σε μια μελλοντική απότομη διαρροή του εναπομείναντος πετρελαίου από το κουφάρι του Sea Diamond. Κάθε σενάριο αφορά τα πιθανότερα ανεμολογικά δεδομένα, ενώ κάθε περίπτωση αφορά δύο διαφορετικούς ρυθμούς διαρροής.

Από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων προέκυψε ότι για τα πρώτα δύο σενάρια (τα οποία είναι τα πιο πιθανά) οι αρμόδιες αρχές θα έχουν λιγότερο από 2 ώρες για να αντιδράσουν, καθώς το πετρέλαιο θα αρχίσει να απλώνεται στις ακτές. Αντίθετα, στο τρίτο σενάριο θα αργήσει αρκετά σε σχέση με τα άλλα δύο να απλωθεί στις ακτές (6 ώρες), παρόλα αυτά υπάρχει πολύ μεγάλος κίνδυνος να ρυπανθεί τεράστιο μήκος αυτών εάν δεν αντιδράσουν γρήγορα οι αρμόδιοι φορείς. Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε μια διαρροή αυτών τις νυκτερινές ώρες, αυξάνει πάρα πολύ τον κίνδυνο για όλα τα σενάρια, καθώς είναι βέβαιο ότι μέχρι να γίνει ορατή, θα έχει ήδη ρυπάνει τις ακτές.

Επίσης, όσον αφορά τις μεταβολές στις φυσικοχημικές ιδιότητες του πετρελαίου σε σχέση με τον χρόνο, τα αποτελέσματα ήταν τα εξής:

- Χαμηλό ποσοστό εξάτμισης και σχεδόν μηδενική διασπορά (τα οποία αναμενόταν όπως είχε αναφερθεί και στην παράγραφο 2.3.1).
- Αύξηση της πυκνότητας του πετρελαίου (όχι αρκετή όμως ούτως ώστε να είναι μεγαλύτερη από αυτή του νερού).

Επιπλέον, σχετικά με τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν, είναι και τα δύο αρκετά εύχρηστα. Αναφορικά με τα αποτελέσματά τους, μείζονα ρόλο παίζουν οι παράμετροι οι οποίοι επιλέγονται και χρησιμοποιούνται για τους διάφορους υπολογισμούς (π.χ συντελεστής διάχυσης). Επομένως, παρέχουν τη δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει πιο

αντιπροσωπευτικά στην πραγματικότητα δεδομένα, ούτως ώστε να εξαχθούν ακριβέστερα αποτελέσματα.

Τέλος, η δυνατότητα των προγραμμάτων αυτών να δέχονται και επεξεργάζονται πληθώρα διαφορετικών δεδομένων (π.χ μεταβαλλόμενο άνεμο, ρεύματα κτλ) τα καθιστούν κατάλληλα για μοντελοποίηση πιθανών ατυχημάτων.

Εν κατακλείδι, ο απώτερος σκοπός της έρευνας ήταν να αναδείξει τους κινδύνους και τις συνέπειες που θα έχει μια πιθανή απελευθέρωση των καυσίμων από το κουφάρι του πλοίου λόγω αποκοπής ενός τμήματος του, ούτως ώστε να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα και αποφάσεις.

Προτάσεις:

Για περεταίρω έρευνα και εξέλιξη της παρούσας εργασίας, παρατίθενται παρακάτω μερικές προτάσεις:

- Χρήση μοντέλου τριών διαστάσεων, ούτως ώστε να πραγματοποιηθούν εκτιμήσεις σχετικά με την συμπεριφορά του πετρελαίου και στις τρεις διαστάσεις, καθώς το ναυάγιο βρίσκεται περίπου 145 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Με αυτόν τον τρόπο, θα ληφθούν υπόψη διεργασίες όπως η καθίζηση.
- Εκτίμηση της ποσότητας των τοξικών ουσιών που αναμένεται να απελευθερωθούν από το ναυάγιο του Sea Diamond σε περίπτωση κατάρρευσης του, καθώς επίσης και προσομοίωση της διασποράς τους.
- Περαιτέρω έρευνα, βασιζόμενη στα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, τόσο για την ανάλυση των επιπτώσεων που προκύπτουν από την απελευθέρωση των πετρελαιοειδών, όσο και για τον προσδιορισμό της βέλτιστης στρατηγικής για την αντιμετώπιση της πετρελαιοκηλίδας.

Βιβλιογραφία

➤ Ελληνική

- Αργυρίου Ι., (2017), *Μεταπτυχιακή διατριβή «Μοντελοποίησης πηγών ρύπανσης στον κόλπο της Σούδας με χρήση των μοντέλων GNOME και ADIOS».*
- Κοτρίκλα Α., (2015), *«Ναυτιλία και περιβάλλον».*
- Νομικός Γ., (2011), *Μεταπτυχιακή διατριβή «Πετρελαιοειδή και Οργανικοί Ρύποι από το Ναυάγιο του Sea Diamond – Αξιολόγηση του επιπέδου ρύπανσης και διαχρονικής της εξέλιξη».*
- Πολυτεχνείο Κρήτης, (2010-2011), *«Ποιοτικός και ποσοτικός χαρακτηρισμός επικίνδυνων και τοξικών ουσιών από το ναυάγιο του Sea Diamond».*
- Πολυτεχνείο Κρήτης, (2016), *«Πρόγραμμα παρακολούθησης και ελέγχου των επικίνδυνων και τοξικών ουσιών από το ναυάγιο του Sea Diamond» Συγκεντρωτικά αποτελέσματα - Συμπεράσματα.*
- Φυτιανός Κ., (1996), *«Η ρύπανση των θαλασσών».*

➤ Ξένα

- Chang, S. E., Stone J., Demes K., and Piscitelli M., (2014), *«Consequences of oil spills: a review and framework for informing planning. Ecology and Society».*
- Clark R. B, (2001), *«Marine pollution».*
- Environmental Protection Engineering S.A., (March 2008), *«Cruise ship Sea Diamond Green Passport».*
- Gnome, (January 2002), *«User's Manual».*
- ITOPF, (2002), *«Fate of Marine Oil Spills».*
- ITOPF, (2014), *«Technical Information Paper 2».*
- ITOPF, (2014), *«Technical Information Paper 7».*
- IRWIN R.J. National Park Service, (July 1997), *«Environmental Contaminants Encyclopedia Fuel Oil Number 6 entry».*
- Miller G. T., (2004), *«Περιβαλλοντικές επιστήμες».*
- National Oceanic and Atmospheric Administration, (January 2002), *«Trajectory Analysis Handbook».*
- National Research Council, (2003), *«Oil in the Sea III».*
- National Research Council, (1999), *«Spills of Nonfloating Oils Risk and Response».*
- Oil Spill Response, (January 2012), *«Technical Information Sheet»*

Patin S., (1999), «Environmental Impact of the offshore oil and gas Industry».

➤ Διαδίκτυο

<http://www.epe.gr/case-study/sea-diamond/>

<http://www.medess4ms.eu/marine-pollution>

<http://penteli.meteo.gr/stations/santorini/>

https://www.windfinder.com/windstatistics/santorini?fspace=thira_santorini

<http://response.restoration.noaa.gov/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_oil

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

<https://gnome.orr.noaa.gov/goods>

<http://e-know.info/37132-sea-diamond-wreck.acw>

<http://www.itopf.com/knowledge-resources/documents-guides/response-techniques/containment-recovery/>