



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παπαδάτος Αλέξιος

«ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΥΧΗΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΑΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ
ΝΑΥΤΙΚΟ ΑΤΥΧΗΜΑ ΣΤΟ ΑΙΓΑΙΟ»



Επιβλέπων: Επίκουρος καθηγητής Ε.Μ.Π. Νικόλαος Βεντίκος

ΑΘΗΝΑ 2013

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω:

- Πρώτα από όλα τον κ. Βεντίκο Νικόλαο, Επίκουρο Καθηγητή της σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών για την ανάθεση και επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Τον ευχαριστώ για τον χρόνο που αφιέρωσε, για την άψογη συνεργασία που είχαμε και για την καθοριστική συμβολή του στην πορεία της διπλωματικής εργασίας.
- Ευχαριστώ επίσης όλους τους καθηγητές της σχολής για τις γνώσεις που μου έδωσαν, με τις οποίες θα αγωνιστώ στην επαγγελματική μου σταδιοδρομία από εδώ και πέρα.
- Θα ήθελα επίσης να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, Θωμαή Μπακτσεβάνα και Διονύσιο Παπαδάτο, για την στήριξη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια και για τις πολύτιμες συμβουλές τους σε όλα μου τα βήματα στην ζωή.

Περίληψη

Το Αιγαίο πέλαγος είναι μία θάλασσα με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που το καθιστούν μία από τις πιο επικίνδυνες θάλασσες στον κόσμο για το ενδεχόμενο ατυχήματος σε πετρελαιοφόρο πλοίο, ενώ, παράλληλα, τονίζεται ότι παρά το υψηλό ρίσκο που ενέχουν οι μεταφορές των πετρελαιοειδών στο ελληνικό πέλαγος δεν έχει ακόμα δημιουργηθεί ένα ισχυρό πλαίσιο για τη θωράκισή του σε περίπτωση διαρροής πετρελαίου.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα γίνει μία πιθανοθεωρητική ανάλυση ενός ατυχήματος με την βοήθεια του προγράμματος MEMW-OSCAR. Το OSCAR είναι ένα πρόγραμμα που προσομοιώνει την τύχη και την γήρανση του πετρελαίου, όταν αυτό διαρρέυσει στην θάλασσα και υπολογίζει τις πιθανές βιολογικές επιδράσεις. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η ανάδειξη της τύχης μίας πετρελαιοκηλίδας μετά από ένα ναυτικό ατύχημα στον ελλαδικό χώρο.

Αρχικά θα αναφέρουμε τα χαρακτηριστικά του πετρελαίου που επηρεάζουν την συμπεριφορά του στην θάλασσα καθώς και όλες τις διαδικασίες γήρανσης του. Με την βοήθεια του προγράμματος Oscar θα κάνουμε μία προσομοίωση για το ατύχημα του κρουαζιερόπλοιου Sea Diamond, ενώ στην συνέχεια θα κατασκευάσουμε ένα μοντέλο για ένα υποθετικό ατύχημα ενός πλοίου tanker Suezmax στο Αιγαίο.

Με την ολοκλήρωση της προσομοίωσης των μοντέλων του Sea Diamond και του tanker Suezmax έχουμε μία ξεκάθαρη εικόνα των πιθανών επιπτώσεων. Στην περίπτωση του Sea Diamond αναμένουμε την μεγαλύτερη ποσότητα πετρελαίου να καταλήξει στον όρμο Αθηνιό με συχνότητα κατάληξης περίπου 60%. Αντίστοιχα στην περίπτωση του tanker Suezmax την μεγαλύτερη ποσότητα πετρελαίου αναμένουμε στην Χίο, αλλά η περιοχή με την μεγαλύτερη συχνότητα κατάληξης του πετρελαίου είναι τα Ψαρά, περίπου 63%.

Abstract

The Aegean Sea is a sea with special characteristics that make it one of the most dangerous seas in the world for a potential accident at oil tanker, while also stressing that despite the high risks inherent in the transport of petroleum products at the Greek sea has not yet create a robust framework for shielding in case of oil leakage.

In the context of this thesis will be a probabilistic analysis of an accident with the help of the program MEMW-OSCAR. OSCAR is a program that simulates the fate and aging of oil, when it spilled into the sea and calculates the possible biological effects. The aim of this thesis is to highlight the fate of an oil slick after a maritime accident in Greece.

Initially we will mention the oil characteristics which influence its behavior at sea as well as all the weathering processes of oil. With the aid of program Oscar we will make a simulation for the accident of the cruise ship Sea Diamond, and then we will construct a model for an hypothetical accident of a tanker Suezmax in the Aegean Sea.

With the completion of the simulation models of Sea Diamond and tanker Suezmax we have a clear picture of the potential impacts. In the case of Sea Diamond we expect most oil to reach Athinios with outcome frequency about 60%. Similarly in the case of tanker Suezmax, the greatest amount of oil we expect to reach Chios, but the area with the greatest outcome frequency is the island of Psara, about 63%.

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες	2
Περίληψη	3
Abstract	4
1. Γήρανση του πετρελαίου	7
1.1 Εισαγωγή.....	7
1.2 Γήρανση πετρελαίου.....	8
1.2.1 Εξάπλωση.....	9
1.2.2 Εξάτμιση.....	11
1.2.3 Διασπορά	12
1.2.4 Γαλακτωματοποίηση.....	14
1.2.5 Διάλυση.....	18
1.2.6 Οξείδωση.....	19
1.2.7 Καθίζηση.....	20
1.2.8 Βιοαποικοδόμηση.....	22
2. Βιβλιογραφική επισκόπηση	24
2.1 Εισαγωγή.....	24
2.2 Three Gorges Reservoir.....	24
2.3 Stochastic simulation model of oil spill fate and transport in Abu Ali.....	26
2.4 OILPOL- Simulation of the Al-Ahmadi oil spill.....	30
3. Περιγραφή του προγράμματος Memw Oscar	36
3.1 Εισαγωγή.....	36
3.2 Κατασκευάζοντας ένα σενάριο.....	36
3.2.1 Αρχικό παράθυρο προγράμματος.....	37
3.2.2 Εισαγωγή δεδομένων σημείου διαρροής.....	38
3.2.3 Εισαγωγή παραμέτρων σεναρίου.....	39
3.2.4 Εισαγωγή παραμέτρων μοντέλου.....	43
3.3 Τρέξιμο προσομοίωσης σεναρίου και αποτελέσματα.....	44
4. Το ατύχημα του πλοίου Sea Diamond	47
4.1 Εισαγωγή.....	47
4.2 Σκοπός και δεδομένα του μοντέλου του Sea Diamond.....	48
4.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων για το μοντέλο του Sea Diamond.....	52
4.3.1 Ρυθμός διαρροής πετρελαίου 20 lt/day.....	52
4.3.2 Ρυθμός διαρροής πετρελαίου 30 lt/day.....	62
4.3.3 Ρυθμός διαρροής πετρελαίου 5 tn/day.....	67
4.3.4 Ρυθμός διαρροής πετρελαίου 100 tn ακαριαία.....	72

5. Μοντέλο ατυχήματος πλοίου tanker Suezmax στο Αιγαίο.....	79
5.1 Εισαγωγή.....	79
5.2 Δεδομένα μοντέλου Suezmax.....	82
5.3 Αποτελέσματα σεναρίων του μοντέλου Suezmax.....	86
5.3.1 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα του μοντέλου Suezmax.....	86
5.3.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων 4 δυσμενών σεναρίων.....	102
6. Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις.....	113
6.1 Σύνοψη-Συμπεράσματα.....	113
6.2 Μελλοντικές επεκτάσεις	113
Βιβλιογραφία.....	115
Annex.....	CD

Κεφάλαιο 1. Γήρανση του πετρελαίου

1.1. Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγική αναφορά στις διαδικασίες γήρανσης του πετρελαίου (weathering of oil), όταν αυτό χυθεί στην θάλασσα. *Πετρέλαιο* είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται γενικότερα για να περιγράψει όλα τα παράγωγα πετρελαίου που αποτελούνται κυρίως από υδρογονάνθρακες. Άλλα παράγωγα αποτελούνται από ελαφριά συστατικά, όπως προπάνιο και βενζίνη, ενώ άλλα από πιο σύνθετες και βαριές ενώσεις όπως είναι το βιτουμένιο, η άσφαλτος, οι ρητίνες και τα κεριά. Όταν το πετρέλαιο διαρρέυσει στην θάλασσα θα υποβληθεί σε μία σειρά από φυσικοχημικές διαδικασίες, ορισμένες από τις οποίες οδηγούν στην απομάκρυνσή του από την επιφάνεια της θάλασσας, ενώ άλλες συντελούν στην παραμονή του. Οι διαδικασίες αυτές είναι ευρέως γνωστές ως *γήρανση του πετρελαίου*.

Η συμπεριφορά του πετρελαίου στην θάλασσα εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες όπως είναι η ποσότητα του πετρελαίου που διέρρευσε, τα αρχικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του και οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Επομένως οι διαδικασίες της γήρανσης διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του πετρελαίου. Τα κύρια χαρακτηριστικά του πετρελαίου που επηρεάζουν την γήρανσή του είναι:

- Το ειδικό βάρος (specific gravity)
- Τα χαρακτηριστικά απόσταξης του (distillation characteristics)
- Το ιξώδες (viscosity)
- Σημείο ροής (pour point)

Το **ειδικό βάρος** του πετρελαίου είναι η πυκνότητά του σε σχέση με το καθαρό νερό. Τα περισσότερα είδη πετρελαίου έχουν ειδικό βάρος μικρότερο της μονάδας και είναι ελαφρύτερα από το νερό, το οποίο έχει ειδικό βάρος περίπου 1,025. Το °API (American Petroleum Institute gravity scale) χρησιμοποιείται πολύ συχνά για να περιγράψει το ειδικό βάρος του αργού πετρελαίου αλλά και των διαφόρων παραγώγων του και υπολογίζεται ως εξής:

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\text{specific gravity}} - 131,5$$

Ανάλογα με το ειδικό βάρος μπορούμε να κατατάξουμε τα είδη πετρελαίου σε τέσσερις βασικές ομάδες. Η **Ομάδα 1** περιλαμβάνει πετρέλαια με ειδικό βάρος <0.80 (°API >45) τα οποία τείνουν να διαλύονται και να εξαφανίζονται μέσα σε λίγες ώρες και τα οποία δεν σχηματίζουν γαλακτώματα. Στην **Ομάδα 2** ανήκουν τα πετρέλαια με ειδικό βάρος 0.80-0.85 (°API 35-45) και στην **Ομάδα 3** αυτά που έχουν ειδικό βάρος 0.85-0.95 (°API 17,5-35), τα οποία μπορεί να χάσουν μέχρι και 40% του όγκου τους τις πρώτες ώρες μέσα από την διαδικασία της εξάτμισης. Παρ' όλα αυτά επειδή έχουν την τάση να σχηματίζουν παχύρρευστα γαλακτώματα παρατηρείται μια αύξηση του

αρχικού τους όγκου. Τέλος στην **Ομάδα 4** ανήκουν τα πετρέλαια με ειδικό βάρος >0.95 ($^{\circ}\text{API} <17,5$), τα οποία είναι πολύ επίμονα λόγω του ότι δεν έχουν στην σύνθεσή τους πτητικά συστατικά και ταυτόχρονα λόγω του υψηλού ιξώδες τους.

Τα **χαρακτηριστικά απόσταξης** ενός πετρελαίου περιγράφουν την πτητικότητά του. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του πετρελαίου διαφορετικά συστατικά του φτάνουν στο σημείο βρασμού τους το ένα μετά το άλλο και εξατμίζονται ένα ένα. Ορισμένα είδη πετρελαίου περιέχουν ασφαλτούχα ή κηρώδη υπολείμματα τα οποία δεν μπορούν εύκολα να αποσταχθούν ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες. Αυτά είναι πιθανόν να παραμείνουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα στο περιβάλλον.

Το **ιξώδες** ενός πετρελαίου, ή αλλιώς κινηματική συνεκτικότητα είναι η αντίστασή του στο να ρέει. Πετρέλαια με υψηλό ιξώδες ρέουν δυσκολότερα από εκείνα με χαμηλότερο ιξώδες. Όλα τα πετρέλαια γίνονται πιο παχύρρευστα καθώς η θερμοκρασία τους πέφτει, άλλα περισσότερο και άλλα λιγότερο, ανάλογα με την σύνθεσή τους. Συνήθως οι μονάδες της κινηματικής συνεκτικότητας που χρησιμοποιούνται είναι τα centistokes (cSt).

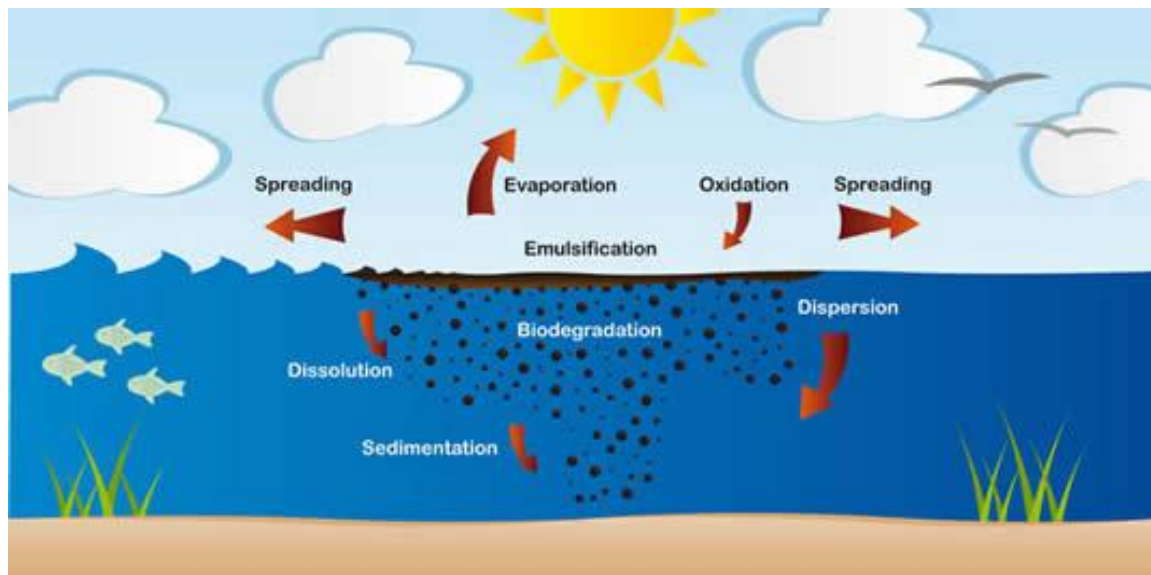
Το **σημείο ροής** ενός πετρελαίου είναι η θερμοκρασία κάτω από την οποία το πετρέλαιο δεν ρέει. Είναι συνάρτηση της περιεκτικότητας του πετρελαίου σε κεριά και άσφαλτο. Καθώς το πετρέλαιο ψύχεται φτάνει σε μία θερμοκρασία, η οποία καλείται *cloud point*, στην οποία τα κηρώδη συστατικά του ξεκινούν να σχηματίζουν κρυσταλλικές δομές. Αυτό δυσχεραίνει όλο και περισσότερο την ροή του πετρελαίου μέχρις ότου το μετατρέψει τελικά από υγρό σε ημι-στερεό στο σημείο ροής.

1.2. Γήρανση πετρελαίου

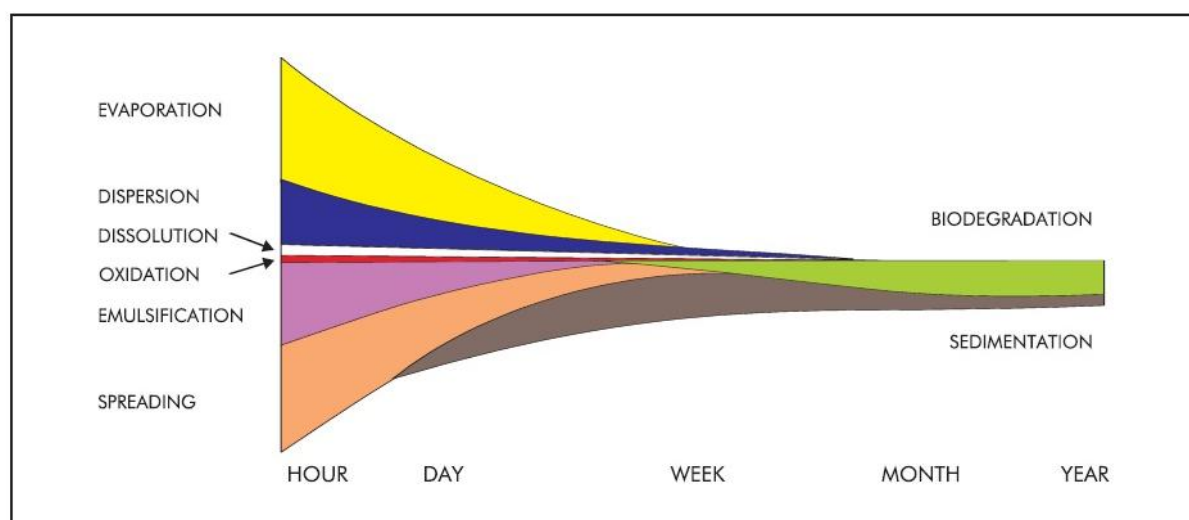
Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως οι φυσικοχημικές αλλαγές στις οποίες υποβάλλεται το πετρέλαιο όταν διαρρεύσει στην θάλασσα είναι ευρέως γνωστές με τον όρο **γήρανση του πετρελαίου**. Παρά το γεγονός ότι μεμονωμένες διαδικασίες που προκαλούν τις αλλαγές αυτές, μπορούν να επενεργήσουν ταυτόχρονα, η σχετική τους βαρύτητα ποικίλλει ανάλογα με τον χρόνο. Οι διαδικασίες αυτές είναι συνοπτικά οι εξής:

- Εξάπλωση (spreading)
- Εξάτμιση (evaporation)
- Διασπορά (dispersion)
- Γαλακτωματοποίηση (emulsification)
- Διάλυση (dissolution)
- Οξείδωση (oxidation)
- Καθίζηση (sedimentation)
- Βιοαποικοδόμηση (biodegradation)

Στο **Σχήμα 1** που ακολουθεί έχουμε μία σχηματική απεικόνιση όλων των παραπάνω διαδικασιών, ενώ στο **Σχήμα 2** έχουμε την αναπαράσταση των διαδικασιών γήρανσης του πετρελαίου σε σχέση με τον χρόνο.



Σχήμα 1. Σχηματική αναπαράσταση των διαδικασιών γήρανσης του πετρελαίου.



Σχήμα 2. Αναπαράσταση των διαδικασιών γήρανσης του πετρελαίου σε σχέση με τον χρόνο- το πλάτος κάθε ζώνης υποδεικνύει την σπουδαιότητα κάθε διαδικασίας.

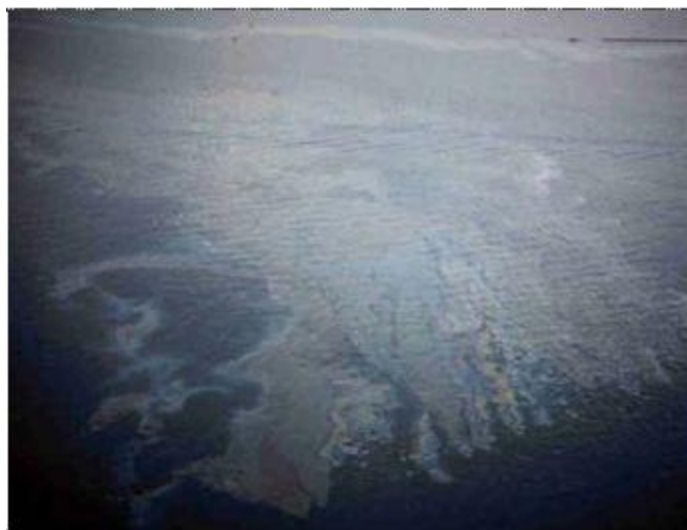
1.2.1. Εξάπλωση

Μόλις το πετρέλαιο διαρρεύσει στην θάλασσα αρχίζει αμέσως να εξαπλώνεται στην επιφάνειά της. Ο ρυθμός με τον οποίο το πετρέλαιο εξαπλώνεται επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως το ιζώδες του πετρελαίου, ο όγκος του πετρελαίου που έχει διαρρεύσει καθώς και τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή.

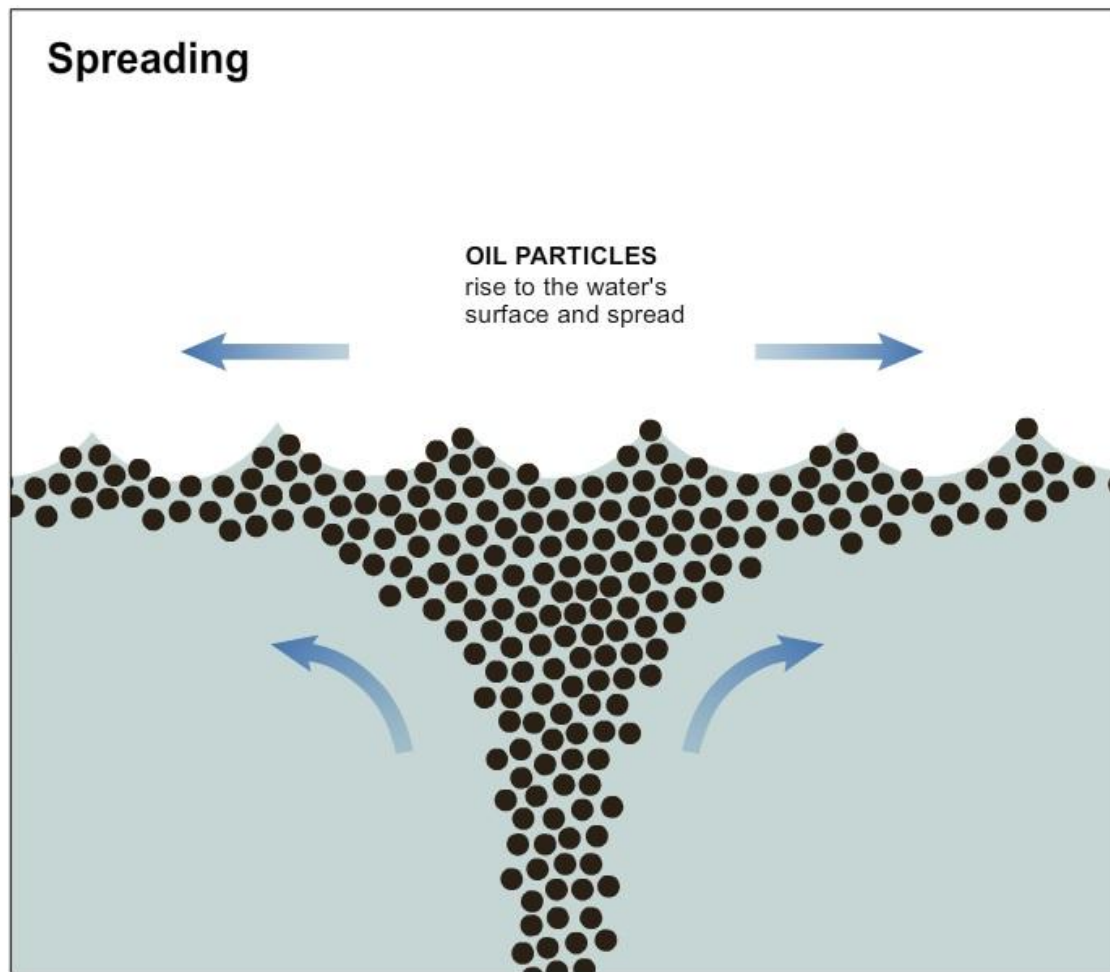
Πετρέλαια με χαμηλό ιξώδες εξαπλώνονται ταχύτερα σε σχέση με εκείνα που έχουν υψηλότερο ιξώδες. Υγρά πετρέλαια χαμηλού ιξώδους αρχικά εξαπλώνονται σαν μία συνεκτική κηλίδα, σύντομα όμως ξεκινούν να διαλύονται. Αντίθετα πετρέλαια με υψηλό ιξώδες θρυμματίζονται σε μικρότερα κομμάτια παρά εξαπλώνονται σε λεπτές στρώσεις. Σε θερμοκρασίες χαμηλότερες του σημείου ροής τους στερεοποιούνται γρήγορα και πλέον εξαπλώνονται πολύ δύσκολα, ενώ μπορεί να παραμείνουν αρκετά εκατοστά σε πάχος. Οι άνεμοι, τα κύματα και οι αναταράξεις του νερού προκαλούν το σχηματισμό στενών ζωνών πετρελαίου, παράλληλες με την διεύθυνση του ανέμου.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν την ταχύτητα του φαινομένου της εξάπλωσης. Όσο ισχυρότερες είναι οι συνδυασμένες δυνάμεις των ρευμάτων του νερού και των παλιρροιακών ρευμάτων τόσο πιο γρήγορα γίνεται η διαδικασία της εξάπλωσης. Επίσης είναι γενικά αποδεκτό ότι η ταχύτητα της επιφανειακής κηλίδας επηρεάζεται περίπου κατά 2 έως 3,5% από την ταχύτητα του ανέμου και κατευθύνεται παράλληλα με την διεύθυνση του ανέμου.

Το γεγονός ότι η πετρελαιοκηλίδα μπορεί μέσα σε λίγες ώρες να σε εξαπλωθεί σε αρκετά τετραγωνικά χιλιόμετρα, όπως επίσης και σε εκατοντάδες μέσα σε λίγες μέρες, καθιστά αρκετά δύσκολη την αποτελεσματική διαδικασία της απορρύπανσης της θάλασσας. Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι η διαδικασία της εξάπλωσης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην γήρανση του πετρελαίου αφού επηρεάζει και άλλες διαδικασίες όπως την εξάτμιση, την διάλυση, την φωτοοξειδωση και την βιοαποικοδόμηση. Στο **Σχήμα 3** βλέπουμε την εξάπλωση του πετρελαίου στην επιφάνεια της θάλασσας μετά από ναυτικό ατύχημα, ενώ στο **Σχήμα 4** έχουμε την σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της εξάπλωσης του πετρελαίου.



Σχήμα 3. Εξάπλωση πετρελαίου στην επιφάνεια της θάλασσας.



Σχήμα 4. Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της εξάπλωσης του πετρελαίου.

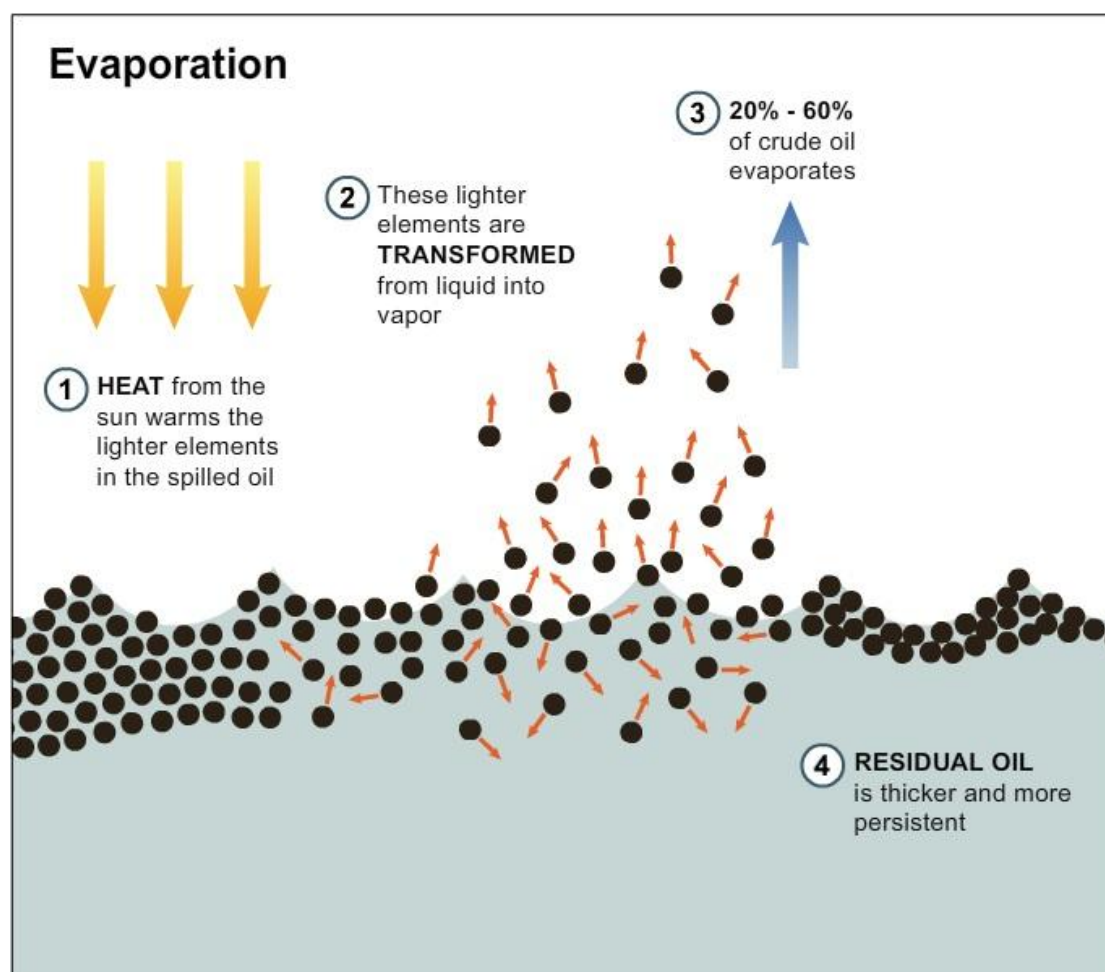
1.2.2 Εξάτμιση

Σχεδόν παράλληλα με την εξάπλωση λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της εξάτμισης. Τα πιο πτητικά συστατικά του πετρελαίου εξατμίζονται στην ατμόσφαιρα. Πετρέλαια τα οποία αποτελούνται σε μεγάλο ποσοστό από ελαφριές και πτητικές ενώσεις εξατμίζονται ευκολότερα, ενώ μπορεί να χάσουν έως και το 60% του όγκου τους μέσα από την διαδικασία της εξάτμισης. Αντίθετα το βαρύ πετρέλαιο υφίσταται ελάχιστη έως και καθόλου εξάτμιση. Για παράδειγμα, η βενζίνη, η κηροζίνη, το πετρέλαιο diesel καθώς και άλλα ελαφριά κλάσματα πετρελαίου τείνουν να εξατμιστούν σχεδόν ολοκληρωτικά μέσα στις πρώτες 1-2 μέρες.

Ο ρυθμός εξάτμισης του πετρελαίου εξαρτάται από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και την ταχύτητα του ανέμου. Γενικά τα συστατικά του πετρελαίου τα οποία έχουν σημείο βρασμού χαμηλότερο από 200°C θα εξατμιστούν μέσα στο πρώτο 24ωρο επικρατώντας μέτριες καιρικές συνθήκες. Όσο μεγαλύτερη η αναλογία των συστατικών με χαμηλό σημείο βρασμού, τόσο μεγαλύτερος ο βαθμός της εξάτμισης. Το ποσοστό της εξάτμισης μπορεί να αυξηθεί καθώς το πετρέλαιο εξαπλώνεται, λόγω

της αυξανόμενης επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας. Θαλασσοταραχή, δυνατοί άνεμοι και υψηλές θερμοκρασίες νερού αυξάνουν τον ρυθμό της εξάτμισης, καθώς και το ποσοστό του όγκου της πετρελαιοκηλίδας που χάνεται μέσα από αυτήν την διαδικασία.

Τα κατάλοιπα του πετρελαίου που απομένουν μετά την εξάτμιση έχουν αυξημένη πυκνότητα και ιξώδες, το οποίο επηρεάζει τις μετέπειτα διεργασίες της γήρανσης και την αποτελεσματικότητα των τεχνικών καθαρισμού του πετρελαίου από την θάλασσα. Στο **Σχήμα 5** βλέπουμε αναλυτικά την σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της εξάτμισης του πετρελαίου.



Σχήμα 5. Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της εξάτμισης του πετρελαίου.

1.2.3 Διασπορά

Οι κυματισμοί και οι αναταράξεις της επιφάνειας της θάλασσας μπορεί να προκαλέσουν τη διάσπαση σε σταγονίδια διαφόρων μεγεθών, τα οποία αναμειγνύονται στα ανώτερα στρώματα της υδάτινης στήλης, του συνόλου ή μέρους της κηλίδας. Ενώ ορισμένα από τα μικρότερα σταγονίδια μπορεί να παραμείνουν

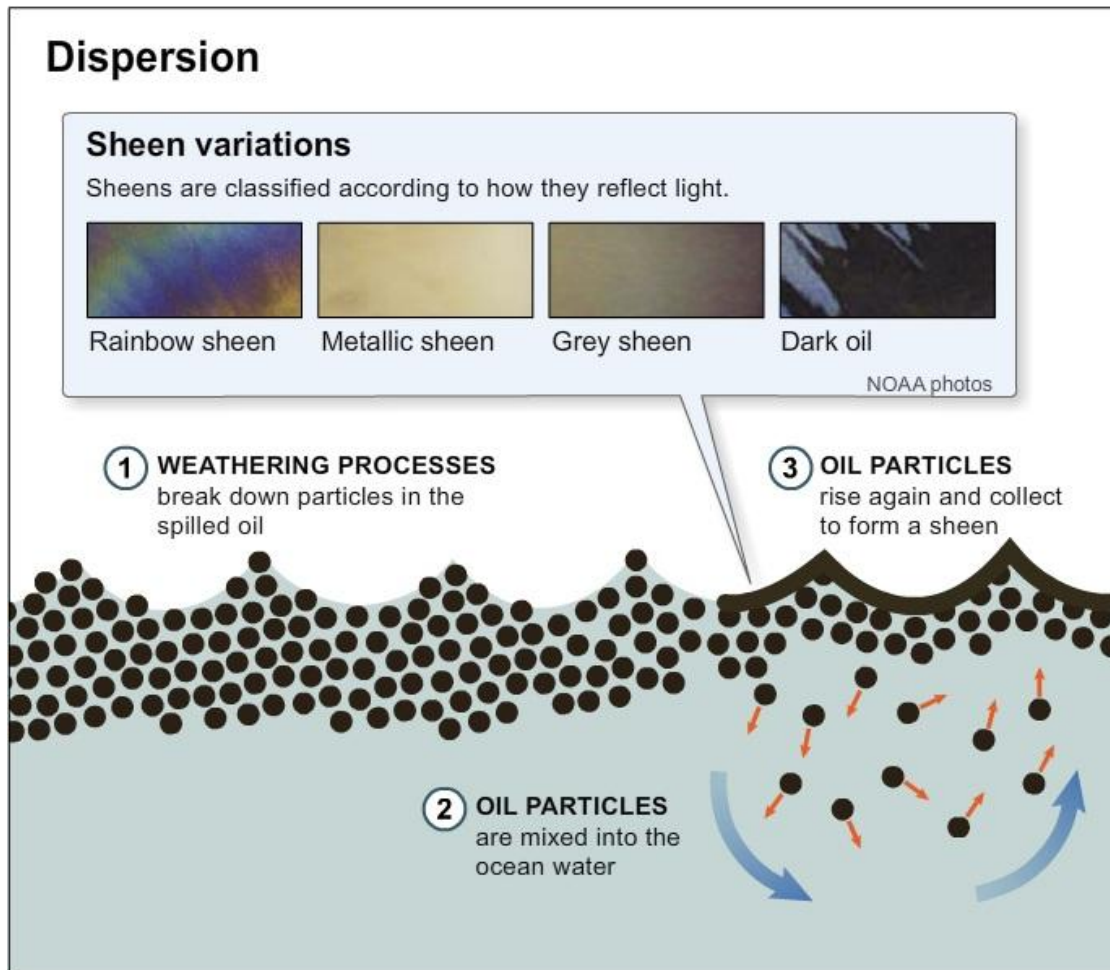
στην υδάτινη στήλη, τα μεγαλύτερα σε μέγεθος επανέρχονται στην επιφάνεια της θάλασσας όπου είτε συγχωνεύονται με άλλες σταγόνες ανασχηματίζοντας μία κηλίδα, είτε εξαπλώνονται σε ένα πολύ λεπτό φιλμ που συχνά αναφέρεται ως “sheen”. Τα σταγονίδια τα οποία είναι αρκετά μικρά και παραμένουν στην στήλη νερού εξ’ αιτίας της ταραχόδους κίνησης της θάλασσας διασκορπίζονται σε όλο και μεγαλύτερες ποσότητες νερού, μειώνοντας έτσι την συγκέντρωση σε πετρέλαιο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της επιφάνειας του πετρελαίου που είναι διασκορπισμένο στην υδάτινη στήλη, γεγονός που συμβάλλει στην επιτάχυνση άλλων διεργασιών όπως η διάλυση, η βιοαποικοδόμηση και η καθίζηση.

Η ταχύτητα με την οποία διασκορπίζεται το πετρέλαιο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την φύση του πετρελαίου και την κατάσταση της θάλασσας. Η διαδικασία της διασποράς γίνεται ταχύτερα όταν το πετρέλαιο έχει χαμηλό ιξώδες και η θάλασσα είναι πολύ άγρια. Πετρέλαια τα οποία παραμένουν ρευστά και εξαπλώνονται ανεμπόδιστα από άλλες διεργασίες γήρανσης μπορεί να διασκορπιστούν ολοκληρωτικά, σε μέτριες συνθήκες θάλασσας, μέσα σε λίγες μέρες. Η εφαρμογή χημικών διασκορπιστικών ουσιών μπορεί να επιταχύνει αυτή την φυσική διαδικασία. Αντίθετα παχύρρευστα πετρέλαια και πετρέλαια σε θερμοκρασίες χαμηλότερες του σημείου ροής τους, ή πετρέλαια τα οποία σχηματίζουν σταθερά γαλακτώματα νερού σε πετρέλαιο, τείνουν να σχηματίζουν παχιά στρώματα στη επιφάνεια της θάλασσας τα οποία έχουν ελάχιστη τάση να διαλυθούν, ακόμα και με χρήση χημικών διασκορπιστικών ουσιών.

Επομένως, η φυσική διασπορά είναι ο τρόπος με τον οποίο ένα πετρέλαιο ή ένα γαλακτώμα απομακρύνεται από την επιφάνεια της θάλασσας κάτω από την επίδραση του ανέμου, των κυμάτων και της αναταραχής της θάλασσας. Η διαδικασία περιλαμβάνει τη δημιουργία σταγονιδίων των οποίων το μέγεθος κυμαίνεται μεταξύ 1 και 500 μm σε διάμετρο, τα οποία αναμιγνύονται με τα ανώτερα στρώματα της υδάτινης στήλης. Πειραματικές μελέτες έχουν δείξει ότι σταγονίδια με διάμετρο μικρότερη από 70 μm παραμένουν διασκορπισμένα σχεδόν σε όλες τις καταστάσεις θάλασσας. Στο **Σχήμα 6** που ακολουθεί βλέπουμε την διασπορά του πετρελαίου στο νερό, ενώ στο **Σχήμα 7** αναλυτικά την σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της διασποράς του πετρελαίου.



Σχήμα 6. Διασπορά πετρελαίου στο νερό.



Σχήμα 7. Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της διασποράς του πετρελαίου.

1.2.4 Γαλακτωματοποίηση

Ένα γαλάκτωμα δημιουργείται όταν δύο υγρά αναμιγνύονται, με το ένα τελικά να καταλήγει εγκλωβισμένο μέσα στο άλλο. Η διαδικασία της γαλακτωματοποίησης είναι γνωστή στην βιβλιογραφία με δύο τρόπους:

- ως γαλακτωματοποίηση του **πετρελαίου στο νερό** (oil in water emulsion).
- ως γαλακτωματοποίηση του **νερού στο πετρέλαιο** (water in oil emulsion).

Στις περιπτώσεις της γαλακτωματοποίησης του πετρελαίου στο νερό, η πετρελαιοκηλίδα μπορεί να αναδομηθεί σε απόσταση από την πηγή της ρύπανσης, δεδομένου ότι τα σταγονίδια του πετρελαίου δεν χάνουν τους μοριακούς τους δεσμούς και εξακολουθούν να παραμένουν ενεργά στην επιφάνεια της θάλασσας.

Τα γαλακτώματα πετρελαίου στο νερό, αποτελούνται από σωματίδια διαμέτρου από 5 μm έως μερικά χιλιοστά, τα οποία μεταφέρονται μέσω των κυμάτων, σε μεγάλες αποστάσεις στην επιφάνεια της θάλασσας και τελικά είτε διαλύονται στο νερό, είτε βιοδιασπώνται, είτε εναποτίθενται στα ιζήματα.

Η περισσότερη συνήθης περίπτωση γαλακτωματοποίησης του αργού πετρελαίου είναι αυτή του νερού στο πετρέλαιο και αναφέρεται στην διαδικασία κατά την οποία σταγονίδια θαλασσινού νερού εγκλωβίζονται στο πετρέλαιο. Σε μέτριες καιρικές συνθήκες αλλά και σε θαλασσοταραχή τα περισσότερα είδη πετρελαίου θα εγκλωβίσουν σταγονίδια νερού και θα σχηματίσουν γαλακτώματα νερού στο πετρέλαιο υπό την τυρβώδη δράση των κυμάτων στην επιφάνεια της θάλασσας. Το γεγονός αυτό μπορεί να αυξήσει το όγκο της ρύπανσης έως και 4 φορές. Τα γαλακτώματα που δημιουργούνται είναι συνήθως πολύ παχύρρευστα και πολύ πιο επίμονα σε σχέση με το αρχικό πετρέλαιο και συχνά αναφέρονται ως “chocolate mousse”.

Πετρέλαια με συγκέντρωση Νικελίου/Βαναδίου μεγαλύτερη από 15 ppm, και πετρέλαια τα οποία έχουν περιεκτικότητα σε άσφαλτο μεγαλύτερη από 0,5%, τείνουν να σχηματίσουν σταθερά γαλακτώματα τα οποία μπορεί να παραμείνουν για αρκετούς μήνες μετά την αρχική διαρροή. Αντίθετα πετρέλαια με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε άσφαλτο είναι λιγότερο πιθανόν να σχηματίσουν γαλακτώματα και πιο πιθανόν να διασκορπιστούν.

Πολύ παχύρρευστα πετρέλαια τείνουν να καταλαμβάνουν νερό πιο αργά απ’ ότι εκείνα τα οποία είναι πιο ρευστά. Καθώς το γαλάκτωμα εξελίσσεται η κίνηση του πετρελαίου στα κύματα αναγκάζει τα σταγονίδια του νερού που έχουν καταληφθεί από το πετρέλαιο να μικραίνουν σε μέγεθος διαρκώς, καθιστώντας το γαλάκτωμα σταδιακά πιο παχύρρευστο και σταθερό. Δεδομένου ότι η ποσότητα του νερού που απορροφάται διαρκώς αυξάνεται, η πυκνότητα του γαλακτώματος πλησιάζει εκείνη του θαλασσινού νερού.

Τα γαλακτώματα του νερού στο πετρέλαιο μπορούν να καταταχθούν σε 3 κατηγορίες: *ευσταθή*, *ημι-ευσταθή* και *ασταθή* (Fingas et al, 1999). Τα *ευσταθή* γαλακτώματα έχουν ιξώδες 500-800 φορές μεγαλύτερο απ’ ότι το αρχικό πετρέλαιο, αισθητή ελαστικότητα και ένα κόκκινο/καφέ, πορτοκαλί ή κιτρινωπό χρώμα, ενώ μπορεί να υπάρχουν για χρόνια χωρίς να διαχωριστούν. Τα *ημι-ευσταθή* γαλακτώματα έχουν συνήθως ένα κόκκινο-μαύρο χρώμα, ιξώδες 20-200 φορές μεγαλύτερο του αρχικού πετρελαίου και μικρότερη ελαστικότητα σε σχέση με τα *ευσταθή*. Τα *ημι-ευσταθή* γαλακτώματα γενικά διαχωρίζονται μέσα σε λίγες μέρες ή εβδομάδες. Τόσο τα *ευσταθή* όσο και τα *ημι-ευσταθή* μπορούν να παρακρατούν έως και 90% νερό. Τέλος τα *ασταθή* γαλακτώματα δεν παρακρατούν σχεδόν καθόλου νερό, όταν απομακρύνονται από ένα δυναμικό περιβάλλον, ενώ το χρώμα τους και οι άλλες ιδιότητές τους δεν διαφέρουν σχεδόν καθόλου από του αρχικού πετρελαίου. Στο **Σχήμα 8** έχουμε μία εικόνα της μορφής ενός αρκετά παχύρρευστου γαλακτώματος, του λεγόμενου *chocolate mousse*, ενώ στο **Σχήμα 9** βλέπουμε την δημιουργία γαλακτώματος μετά από ναυτικό ατύχημα.

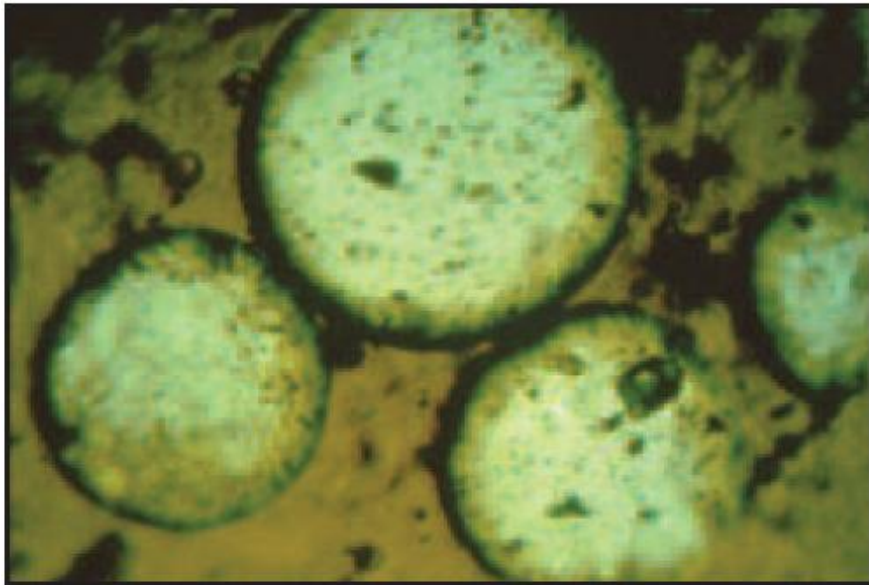


Σχήμα 8. Χαρακτηριστική όψη ενός αρκετά παχύρρευστου γαλακτώματος – το λεγόμενο “chocolate mousse”.

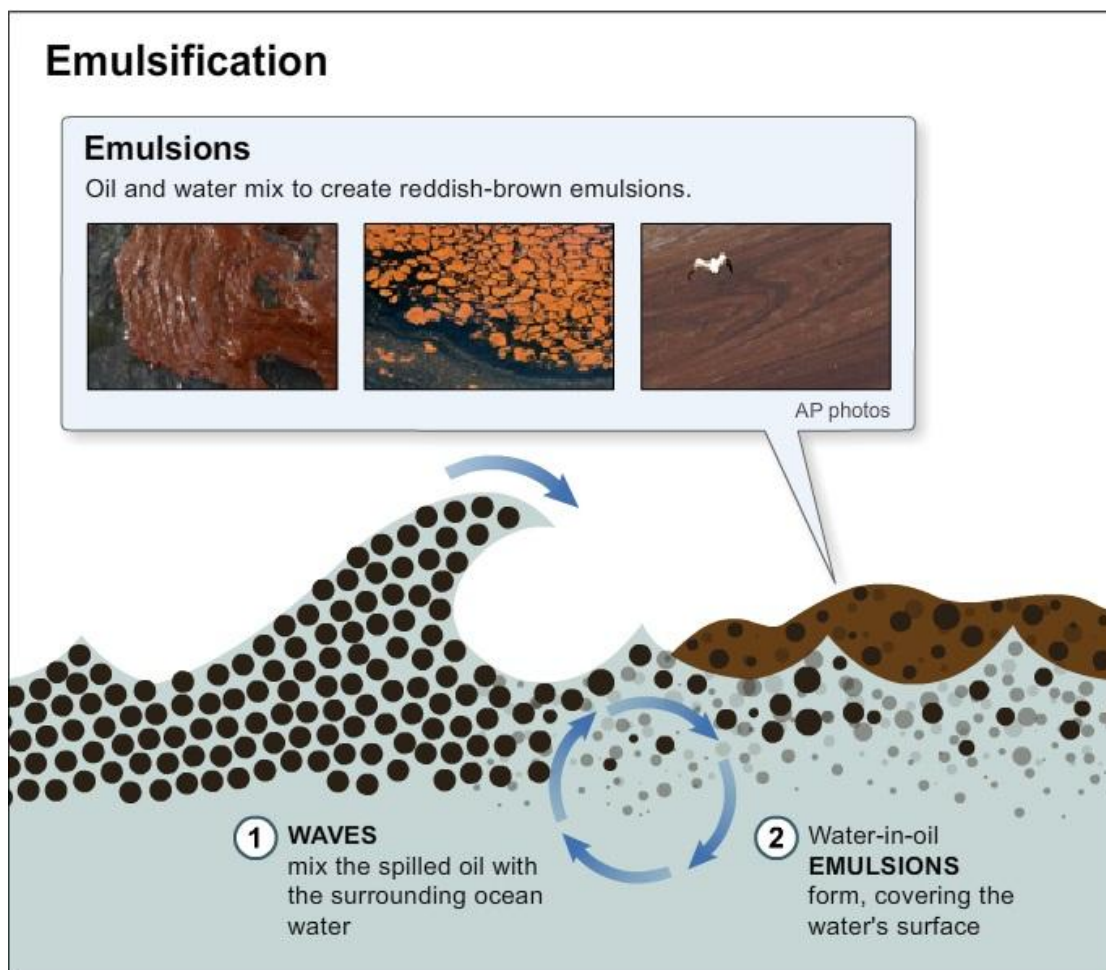


Σχήμα 9. Δημιουργία γαλακτώματος μετά από ναυτικό ατύχημα.

Ο σχηματισμός γαλακτώματος νερού στο πετρέλαιο μειώνει δραστικά το ρυθμό άλλων διεργασιών της γήρανσης και είναι η κύρια αιτία για την παραμονή των ελαφρών και μετρίων αργών πετρελαίων στην επιφάνεια της θάλασσας. Οι κύριες διεργασίες που επηρεάζονται από την γαλακτωματοποίηση είναι η εξάτμιση, η διάλυση και η εξάπλωση σε λεπτά στρώματα, ενώ εμποδίζει και την διασπορά με εξαίρεση όταν έχουμε υψηλής ενέργειας κυματικά πεδία. Το γεγονός αυτό μπορεί σε αρκετές περιπτώσεις να αμβλύνει την περιβαλλοντική καταστροφή, από την στιγμή που περιορίζεται η εξάτμιση του στην ατμόσφαιρα, η εξάπλωσή του στην επιφάνεια της θάλασσας και η διασπορά και διάλυσή του στα διάφορα στρώματα της θάλασσας. Στο **Σχήμα 10** που ακολουθεί βλέπουμε μία πολύ μεγεθυμένη εικόνα (x1000) ενός γαλακτώματος νερού σε πετρέλαιο, ενώ στο **Σχήμα 11** έχουμε αναλυτικά την αναπαράσταση της διαδικασίας γαλακτωματοποίησης ενός πετρελαίου.



Σχήμα 10. Μία πολύ μεγεθυμένη εικόνα (x 1000) ενός γαλακτώματος νερού σε πετρέλαιο, η οποία δείχνει μεμονωμένα σταγονίδια νερού που περιβάλλονται από πετρέλαιο.



Σχήμα 11. Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της γαλακτωματοποίησης ενός πετρελαίου.

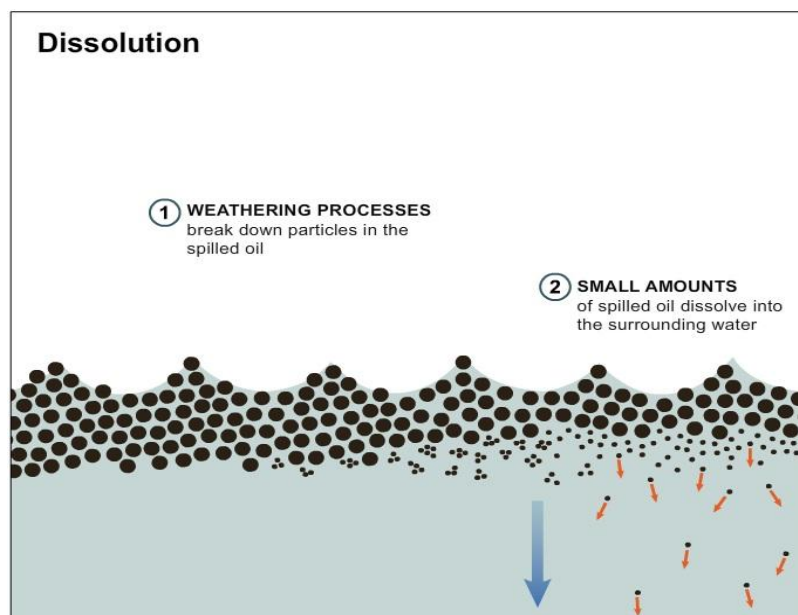
1.2.5 Διάλυση

Οι υδατοδιαλυτές ενώσεις του πετρελαίου μπορεί να διαλυθούν στο νερό που τις περιβάλλει. Ο ρυθμός και το ποσοστό του πετρελαίου που μπορεί να διαλυθεί εξαρτάται από την σύνθεσή του, την εξάπλωσή του στην επιφάνεια της θάλασσας, την θερμοκρασία του νερού, την τυρβώδη ροή του νερού και τον βαθμό διασποράς του. Σύμφωνα με τον Huang, (1983) ο ρυθμός διάλυσης μπορεί να εκφραστεί σαν μία συνάρτηση των ακόλουθων παραμέτρων: συντελεστές διαλυτότητας και διάχυσης, αλκαλικότητα και πίεση του νερού, επιφάνεια, όγκο και πάχος του οριακού στρώματος των σωματιδίων του πετρελαίου, θερμοκρασία πετρελαίου και φαινομενική τραχύτητα της επιφάνειας της θάλασσας.

Τα βαριά συστατικά του αργού πετρελαίου είναι σχεδόν αδιάλυτα στο θαλασσινό νερό, ενώ οι ελαφρύτερες ενώσεις και κυρίως οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες όπως το βενζόλιο και το τολουόλιο είναι ελαφρώς διαλυτές. Παρόλα αυτά, αυτές οι ενώσεις είναι και οι πιο πτητικές και εξαφανίζονται ταχύτατα κατά την εξάτμιση, κατά κανόνα 10 έως 1000 φορές ταχύτερα απ' ό,τι από την διάλυση. Κατά συνέπεια οι συγκεντρώσεις των διαλυμένων υδρογονανθράκων στο νερό της θάλασσας, σπάνια υπερβαίνουν το 1 ppm, ενώ η διάλυση δεν συμβάλλει σημαντικά στην απομάκρυνση του πετρελαίου από την επιφάνεια της θάλασσας.



Σχήμα 12. Διάλυση πετρελαίου στη θάλασσα.



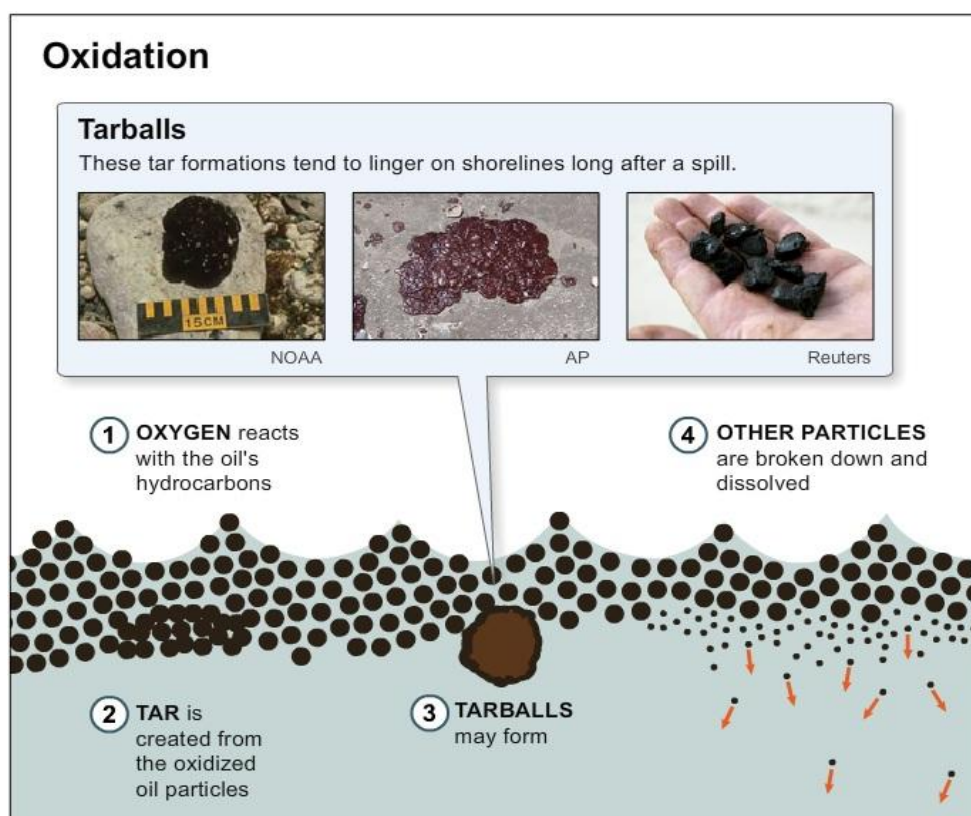
Σχήμα 13. Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της διάλυσης ενός πετρελαίου.

Στο **Σχήμα 12** βλέπουμε μία εικόνα διάλυσης πετρελαίου στη θάλασσα, ενώ στο **Σχήμα 13** έχουμε σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας διάλυσης του πετρελαίου στο νερό.

1.2.6 Οξείδωση

Οι υδρογονάνθρακες αντιδρούν με το οξυγόνο δημιουργώντας είτε υδατοδιαλυτά προϊόντα, είτε σχηματίζοντας επίμονες πίσσες. Η οξείδωση προωθείται από την ηλιακή ακτινοβολία και παρόλο που συμβαίνει σε ολόκληρη την κηλίδα, η συνολική επίδραση της στην απαγωγή του πετρελαίου από την θάλασσα είναι ήσσονος σημασίας σε σχέση με άλλες διαδικασίες της γήρανσης του πετρελαίου.

Ακόμη και κάτω από έντονη ηλιακή ακτινοβολία, λεπτά υμένια πετρελαίου σπάνε με πολύ αργό ρυθμό, συνήθως λιγότερο από 0,1% ανά ημέρα. Τα παχιά στρώματα ενός πολύ παχύρρευστου πετρελαίου, ή ενός γαλακτώματος νερού σε πετρέλαιο, τείνουν να οξειδώνονται σε επίμονα κατάλοιπα αντί να αποικοδομούνται, καθώς οι υψηλότερου μοριακού βάρους ενώσεις που σχηματίζονται, δημιουργούν ένα επιφανειακό προστατευτικό στρώμα. Αυτό παρατηρείται σε σφαιρίδια πίσσας, που μερικές φορές συναντώνται στην ακτή και τα οποία συνήθως αποτελούνται από ένα στερεό εξωτερικό φλοιό οξειδωμένου πετρελαίου και σωματιδίων ιζήματος που περιβάλλει ένα μαλακότερο και λιγότερο «γηρασμένο» εσωτερικό. Στο **Σχήμα 14** βλέπουμε μία σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της οξείδωσης του πετρελαίου.



Σχήμα 14. Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της οξείδωσης του πετρελαίου.

1.2.7 Καθίζηση

Μερικά βαρύτερα κατάλοιπα πετρελαίου έχουν ειδικό βάρος μεγαλύτερο από του θαλασσινού νερού (πάνω από 1,025) με αποτέλεσμα να βυθιστούν με το που διαρρεύσουν στην θάλασσα. Τα περισσότερα είδη αργού πετρελαίου έχουν αρκετά χαμηλό ειδικό βάρος έτσι ώστε να παραμείνουν στην επιφάνεια, εκτός και αν αλληλεπιδράσουν ή προσκολληθούν σε πιο πυκνά ιζήματα ή οργανικά σωματίδια. Διασκορπισμένα σταγονίδια πετρελαίου μπορούν να αλληλεπιδράσουν με σωματίδια ιζήματος τα οποία αιωρούνται στην στήλη νερού με αποτέλεσμα να γίνονται βαρύτερα και να βουλιάζουν. Ωστόσο η προσκόλληση σε βαρύτερα σωματίδια συνήθως πραγματοποιείται όταν το πετρέλαιο φτάσει στην ακτή.

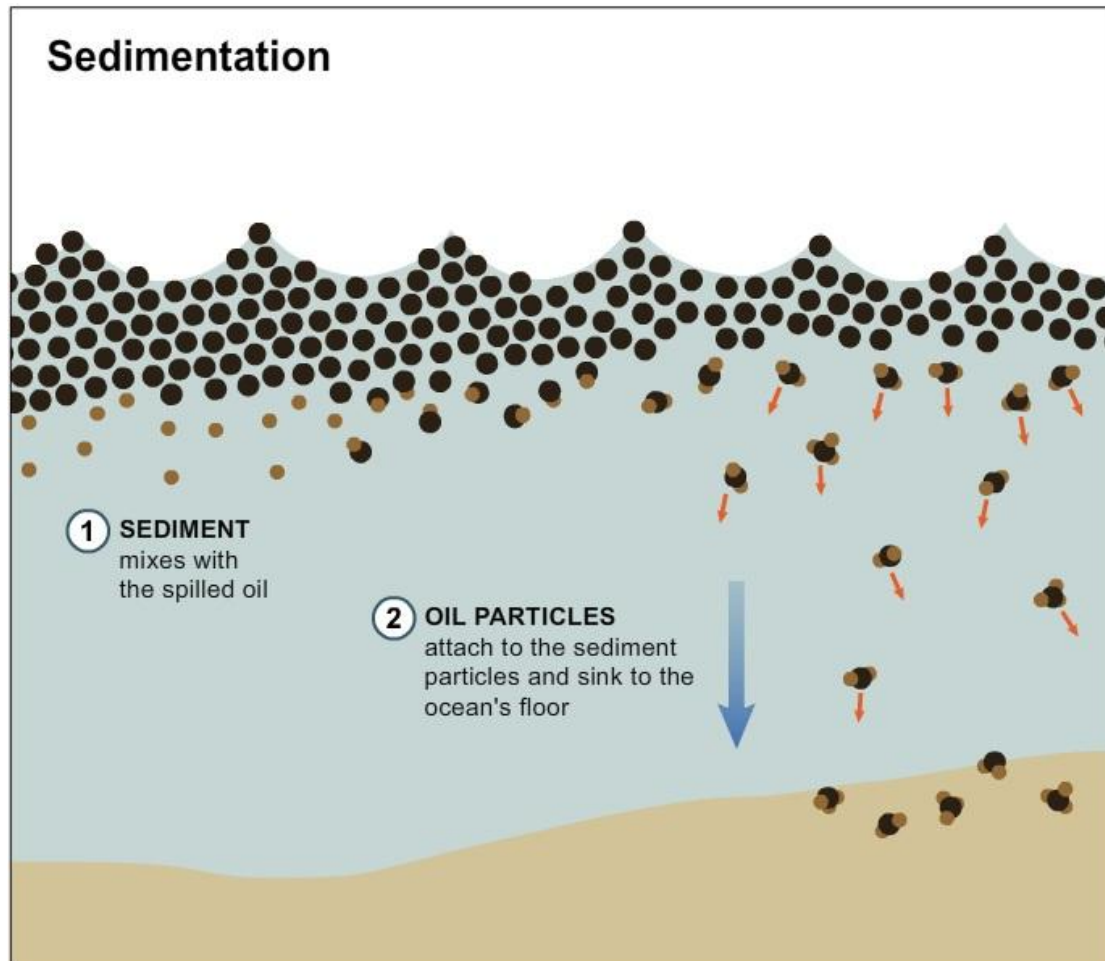
Σε εκτεθειμένες, υψηλής ενέργειας παραλίες, μεγάλες ποσότητες ιζήματος μπορούν να ενσωματωθούν με αποτέλεσμα το πετρέλαιο να σχηματίζει πυκνά στρώματα πίσσας. Εποχιακοί κύκλοι συσσώρευσης και διάβρωσης του ιζήματος μπορεί να οδηγήσουν στο σταδιακό θάψιμο των στρωμάτων του πετρελαίου. Ακόμα και σε λιγότερο εκτεθειμένες αμμώδεις παραλίες, το πετρέλαιο που έχει φτάσει στην ακτή μπορεί να καλυφθεί από την άμμο που παρασύρεται από τον δυνατό άνεμο. Από την στιγμή που το πετρέλαιο έχει αναμιχθεί με το ίζημα της παραλίας, σε περίπτωση που παρασυρθεί από καταιγίδες, παλίρροιες και ρεύματα και ξαναβρεθεί στην θάλασσα θα βυθιστεί. Σε απάνεμες ακτές όπου η δράση των κυμάτων και των ρευμάτων είναι ασθενής, συχνά δημιουργούνται λασπώδη ιζήματα και βάλτοι. Εάν το πετρέλαιο ενσωματωθεί σε τόσο χονδρόκοκα ιζήματα είναι πιθανόν να παραμείνει εκεί για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα.

Ρηχές παράκτιες περιοχές και τα νερά στις εκβολές των ποταμών είναι συχνά φορτωμένα με αιωρούμενα στερεά σωματίδια τα οποία μπορούν να προσκολληθούν στα διάσπαρτα σταγονίδια πετρελαίου. Παρέχουν έτσι ευνοϊκές συνθήκες για την καθίζηση των σωματιδίων του πετρελαίου στον πυθμένα της θάλασσας. Τα περισσότερα βαριά πετρέλαια και γαλακτώματα νερού σε πετρέλαιο έχουν ειδικό βάρος κοντά σε αυτό του θαλασσινού νερού με αποτέλεσμα ακόμα και η ελάχιστη αλληλεπίδραση με ίζημα να προκαλέσει την καθίζησή τους. Το γλυκό νερό των ποταμών μειώνει επίσης την αλατότητα του θαλασσινού νερού στις εκβολές τους, και ως εκ τούτου το ειδικό του βάρος, και μπορεί να προκαλέσει την βύθιση σταγονιδίων ουδέτερης πλευστότητας.

Το πετρέλαιο μπορεί επίσης να προσληφθεί από οργανικό πλαγκτόν το οποίο στην συνέχεια καταλήγει στον βυθό της θάλασσας. Τα σταγονίδια του πετρελαίου που αιωρούνται στην στήλη νερού και προσκολλώνται σε πολύ λεπτόκοκα ιζήματα ή σε οργανική ύλη μπορούν να σχηματίσουν τα λεγόμενα “floculates” τα οποία τείνουν σε μεγάλο βαθμό να διασκορπιστούν από τα ρεύματα και την τυρβώδη ροή της θάλασσας. Στο **Σχήμα 15** βλέπουμε πως το πετρέλαιο έχει καλύψει τον πυθμένα της θάλασσας μετά από ένα ναυτικό ατύχημα, ενώ στο **Σχήμα 16** έχουμε την σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της καθίζησης του πετρελαίου.



Σχήμα 15. Καθίζηση πετρελαίου στον πυθμένα της θάλασσας.



Σχήμα 16. Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της καθίζησης του πετρελαίου

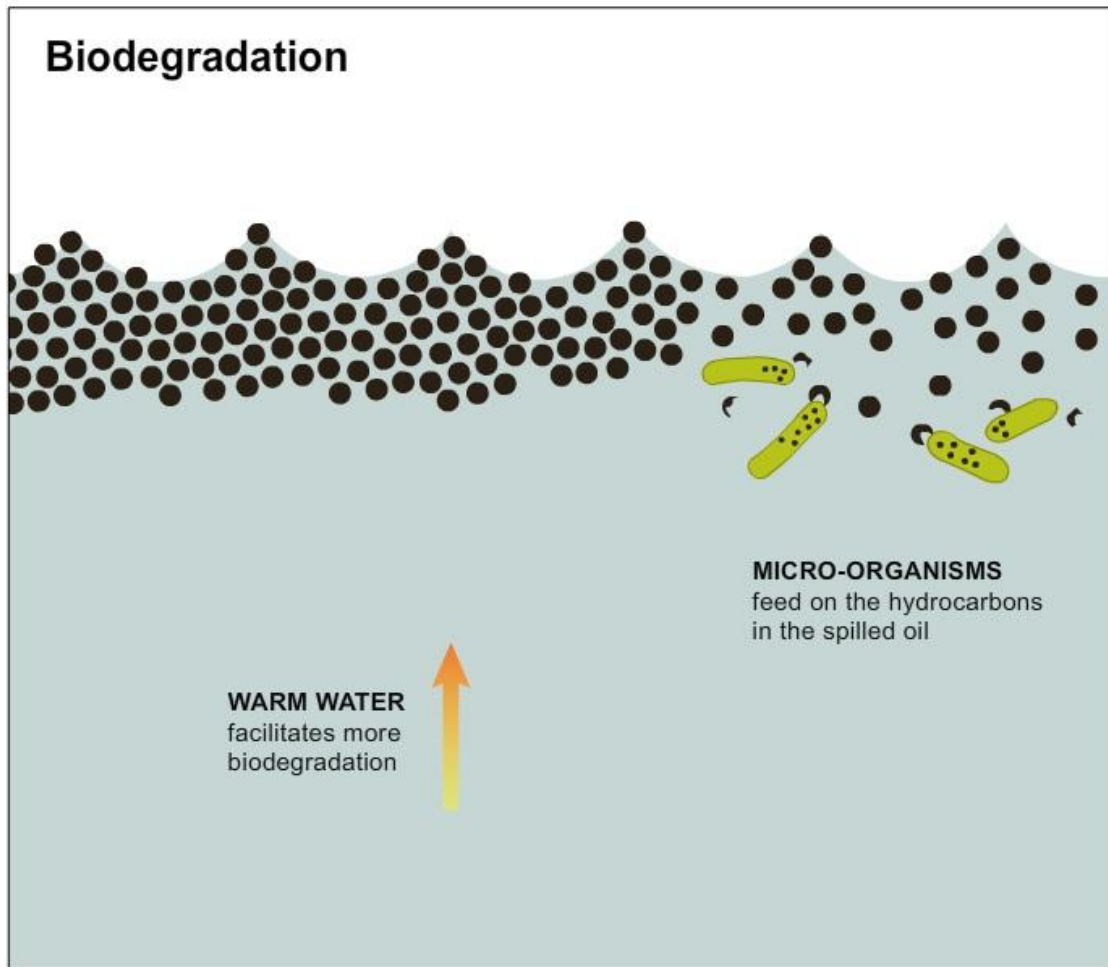
1.2.8 Βιοαποικοδόμηση

Το θαλασσινό νερό περιέχει μία μεγάλη ποικιλία θαλάσσιων μικροοργανισμών ικανών να μεταβολίσουν τις χημικές ενώσεις του πετρελαίου. Αυτοί περιλαμβάνουν τα βακτήρια, τους μύκητες, την μονοκυτταρική άλγη, τα πρωτόζωα κ.α. τα οποία μπορούν να αξιοποιήσουν το πετρέλαιο ως πηγή άνθρακα και ενέργειας. Τέτοιοι οργανισμοί συναντώνται ευρέως σε όλους τους ωκεανούς του κόσμου αν και τείνουν να είναι πιο άφθονοι σε παράκτια ύδατα τα οποία είναι χρόνια μολυσμένα, όπως αυτά σε περιοχές με τακτική κυκλοφορία πλοίων και περιοχές που λαμβάνουν βιομηχανικά απόβλητα και ακατέργαστα λύματα.

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τον ρυθμό και την έκταση της βιοαποικοδόμησης είναι τα χαρακτηριστικά του πετρελαίου, η διαθεσιμότητα σε οξυγόνο και θρεπτικά συστατικά (κυρίως ενώσεις αζώτου και φωσφόρου) και η θερμοκρασία. Κάθε είδος μικροοργανισμού που συμμετέχει στην διαδικασία τείνει να υποβαθμίσει μία συγκεκριμένη ομάδα υδρογονανθράκων και συνεπώς ένα ευρύ φάσμα μικροοργανισμών, οι οποίοι ενεργούν από κοινού ή διαδοχικά, είναι απαραίτητο για την επιτυχή ολοκλήρωση της διαδικασίας. Καθώς προχωράει η διαδικασία της υποβάθμισης του πετρελαίου, αναπτύσσεται μία σύνθετη κοινότητα μικροοργανισμών. Παρά το γεγονός ότι οι απαραίτητοι μικροοργανισμοί υπάρχουν σε σχετικά μικρό ποσοστό στην ανοιχτή θάλασσα, πολλαπλασιάζονται γρήγορα παρουσία πετρελαίου και η υποβάθμιση θα συνεχιστεί έως ότου η διαδικασία περιοριστεί λόγω έλλειψης οξυγόνου και θρεπτικών συστατικών. Παρά το γεγονός ότι οι μικροοργανισμοί έχουν την ικανότητα να διασπών το μεγαλύτερο μέρος των χημικών ενώσεων του πετρελαίου, ωστόσο ορισμένα μεγάλα και πολύπλοκα μόρια του είναι ανθεκτικά στην επίθεση.

Καθώς η βιοαποικοδόμηση απαιτεί οξυγόνο, η διαδικασία αυτή μπορεί να συμβεί μόνο σε ένα περιβάλλον πετρελαίου-νερού. Η δημιουργία σταγονιδίων πετρελαίου είτε με φυσική είτε με χημική διασπορά, αυξάνει την επιφάνεια του πετρελαίου και συνεπώς την διαθέσιμη επιφάνεια προς βιοαποικοδόμηση. Αντίθετα όταν το πετρέλαιο ενσωματώνεται σε ιζήματα στην ακτή ή στον βυθό της θάλασσας η υποβάθμισή του μειώνεται αισθητά και μπορεί να διακοπεί λόγω έλλειψης οξυγόνου ή και θρεπτικών συστατικών.

Η μεγάλη ποικιλία των παραγόντων που επηρεάζουν την διαδικασία της βιοαποικοδόμησης καθιστά δύσκολο να προβλέψουμε τον ρυθμό με τον οποίο το πετρέλαιο μπορεί να αφαιρεθεί. Αν και είναι σαφές ότι μέσω αυτής της διαδικασίας δεν μπορεί να αφαιρεθεί μεγάλη ποσότητα χύδην πετρελαίου, είναι ένας από τους κυριότερους μηχανισμούς με τον οποίο το διεσπαρμένο πετρέλαιο ή τα τελευταία ίχνη πετρελαίου στις ακτές μπορούν τελικά να αφαιρεθούν. Στο **Σχήμα 17** που ακολουθεί βλέπουμε την σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της βιοαποικοδόμησης του πετρελαίου.



Σχήμα 17. Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της βιοαποικοδόμησης.

Κεφάλαιο 2. Βιβλιογραφική επισκόπηση

2.1 Εισαγωγή

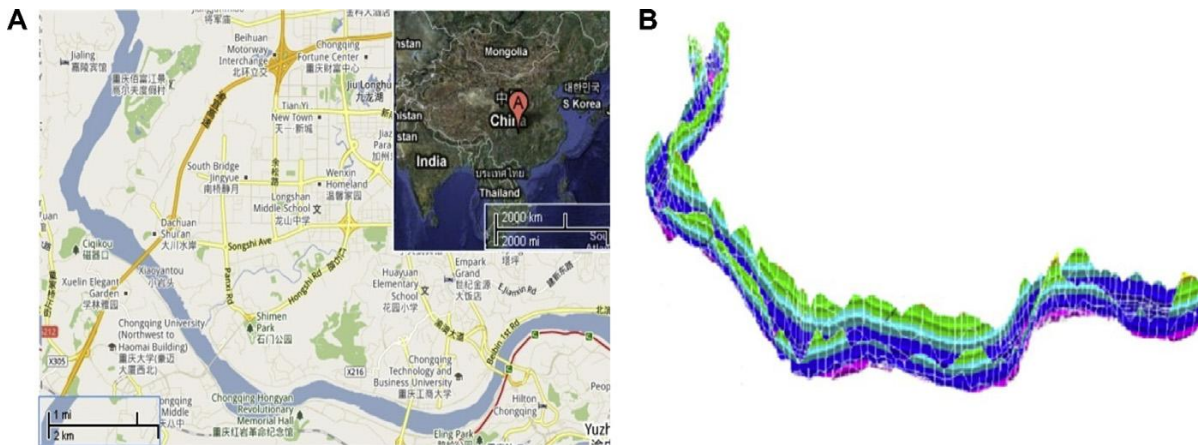
Στο κεφάλαιο 2 θα γίνει μία βιβλιογραφική επισκόπηση από παρόμοιες μελέτες που έχουν γίνει και αφορούν την τύχη του πετρελαίου όταν αυτό διαρρέυσει στην θάλασσα. Σε κάθε μελέτη παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της διαρροής και του πετρελαίου, οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, ενώ στο τέλος της μελέτης συνοψίζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της.

2.2 Three Gorges Reservoir

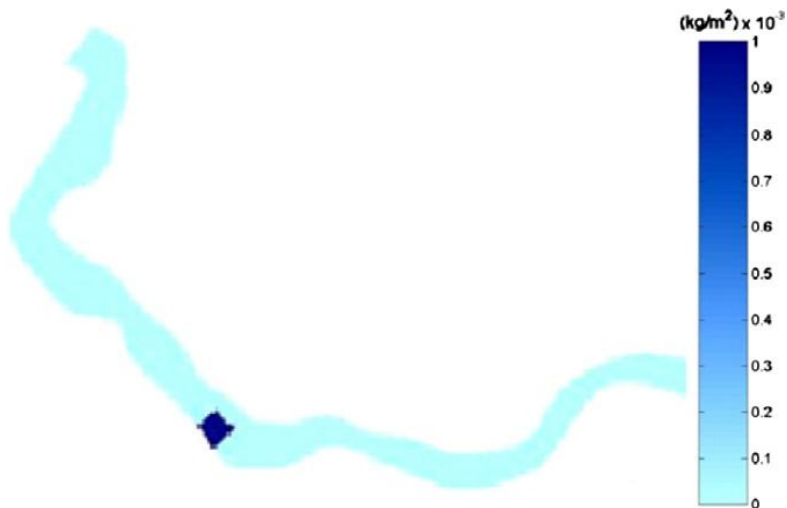
Οι ερευνητές Haipu Bi και Hu Si από το College of Resource and Environment Science, Chongqing University, έκαναν την παρακάτω μελέτη για την δυναμική εκτίμηση του ρίσκου μίας πετρελαιοκηλίδας βασιζόμενοι στα αριθμητικά αποτελέσματα που εξήγαγαν μετά από την προσομοίωση της τύχης της κηλίδας. Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε το κομμάτι της μελέτης που αφορά μόνο την προσομοίωση της τύχης της κηλίδας. Η περιοχή στην οποία εξετάζεται η διαρροή πετρελαίου στην συγκεκριμένη μελέτη είναι ο ποταμός Jialing στην Κίνα, στην επαρχία Chongqing. Στο σενάριο αυτής της μελέτης δημιουργείται μία πετρελαιοκηλίδα στο ημι-στατικό νερό του ποταμού Jialing στο Three Gorges Reservoir μετά την ανύψωση της στάθμης του νερού στα 175 m το 2010. 1000 tn πετρελαίου HFO με πυκνότητα 990 kg/m^3 και κινηματική συνεκτικότητα 1500 cSt διαρρέουν στο νερό ακαριαία τον Οκτώβριο του 2010. Οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή την στιγμή της διαρροής είναι άνεμος με ταχύτητα 1.5 m/s χωρίς συγκεκριμένη διεύθυνση και μέση θερμοκρασία 15°C . Η διάρκεια της προσομοίωσης ορίστηκε στις 8 ημέρες. Το μοντέλο προσομοίωσης της τύχης της πετρελαιοκηλίδας το οποίο αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη μελέτη είναι η δοκιμαστική έκδοση DELFT PART version 3.28 .

Στο **Σχήμα 18A** βλέπουμε την υπό μελέτη περιοχή ενώ στο **18B** παρουσιάζεται το υπολογιστικό πλέγμα του μοντέλου το οποίο δημιουργήθηκε από τα δεδομένα των τοπογραφικών ορίων του φυσικού χώρου κατά μήκος της όχθης του ποταμού.

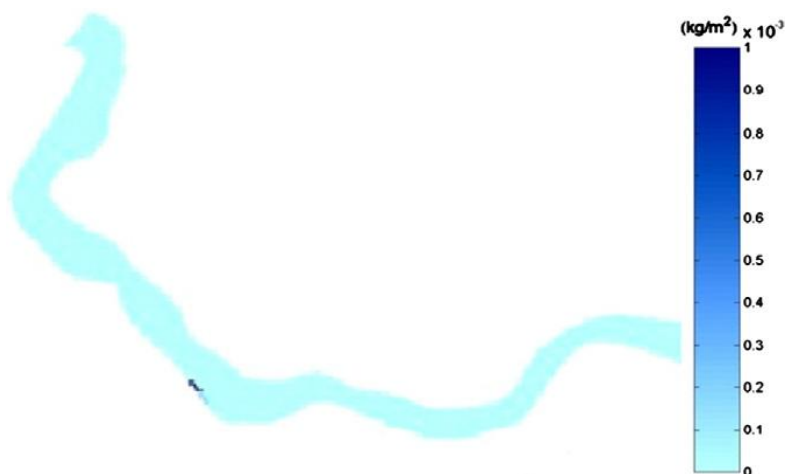
Σημαντική μεγέθυνση της περιοχής που καλύπτεται με πετρέλαιο εμφανίζεται 2.5 μέρες μετά από την έναρξη της προσομοίωσης, όπως παρουσιάζεται και στο **Σχήμα 19**. Το κλάσμα του κολλώδες πετρελαίου αρχίζει και αυξάνεται ενώ το κλάσμα του επιφανειακού πετρελαίου μειώνεται καθώς πλησιάζει στις όχθες του ποταμού. Το κλάσμα του κολλώδες πετρελαίου στις 2.5 μέρες μετά την έναρξη της προσομοίωσης παρουσιάζεται στο **Σχήμα 20**. Τέλος έγινε προσομοίωση της διαρροής με την εφαρμογή δράσης έκτακτης ανάγκης. Έγινε προσθήκη ενός επιπλέον ρυθμού μείωσης των διαδικασιών προσομοίωσης πέραν των φυσικών διεργασιών της εξάτμισης, γαλακτωματοποίησης κ.λ.π. Στο **Σχήμα 21** γίνεται σύγκριση της εξέλιξης της κηλίδας με και χωρίς την εφαρμογή δράσης έκτακτης ανάγκης. Παρατηρείται σημαντική μείωση της επιφάνειας που καλύπτεται με πετρέλαιο καθώς επίσης και της πυκνότητας της κηλίδας μετά από την δράση έκτακτης ανάγκης.



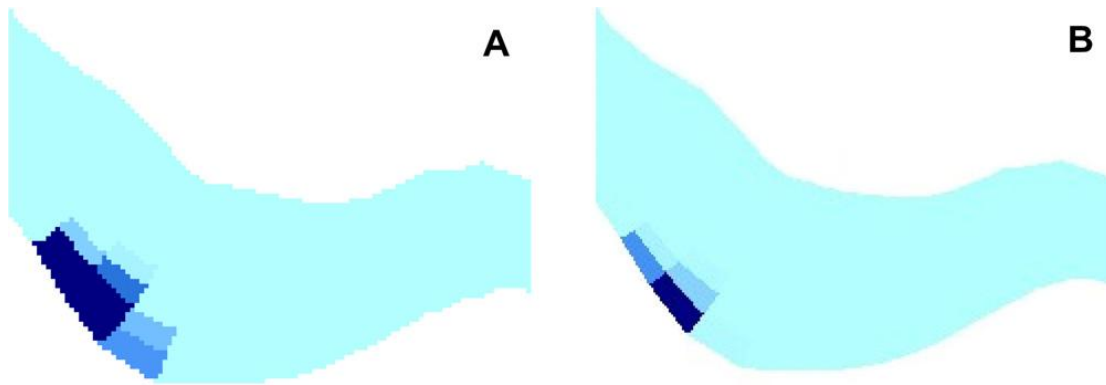
Σχήμα 18. Υπό μελέτη περιοχή βασισμένη στο Googlemap, (<http://maps.google.com/maps?hl=en&tab=wl>) 1 Μαρτίου 2011 (A), υπολογιστικό πλέγμα μοντέλου (B).



Σχήμα 19. Κλάσμα επιφανειακού πετρελαίου 2.5 μέρες μετά την έναρξη της προσομοίωσης.



Σχήμα 20. Κλάσμα κολλώδες πετρελαίου 2.5 μέρες μετά την έναρξη της προσομοίωσης.



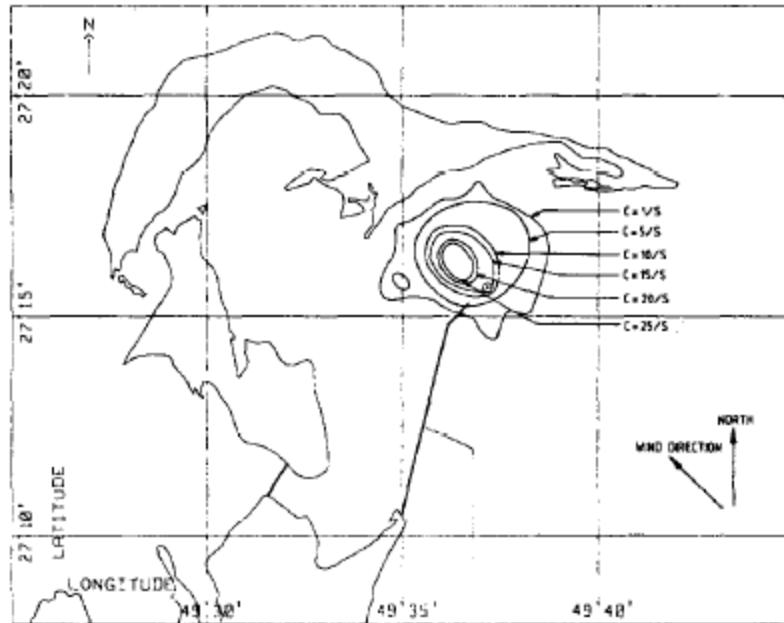
Σχήμα 21. Κλάσμα επιφανειακού πετρελαίου 5.5 μέρες μετά την έναρξη της προσομοίωσης χωρίς (A) και με (B) εφαρμογή έκτακτης ανάγκης.

Το συμπέρασμα της συγκεκριμένης μελέτης είναι ότι με βάση τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά του ημι-στατικού ρευστού μετά την ανύψωση της στάθμης του νερού στα 175 m στο Three Gorges Reservoir το αριθμητικό αποτέλεσμα της προσομοίωσης της κηλίδας παρουσιάζεται σαν ένα μεγάλο μπλοκ, σχεδόν στρογγυλό, επιφανειακού πετρελαίου. Αυτό εμφανίζεται 2.5 μέρες μετά την έναρξη της προσομοίωσης και μειώνεται αισθητά σε επιφάνεια και πυκνότητα μετά την εφαρμογή δράσης έκτακτης ανάγκης. Παράλληλα το κλάσμα του κολλώδες πετρελαίου εμφανίστηκε σε μικρή σχετικά περιοχή κατά μήκος της όχθης του ποταμού, το οποίο όμως σταδιακά αυξανόταν. Τέλος δεν παρατηρήθηκε καθόλου διασκορπισμένο πετρέλαιο στην στήλη του νερού.

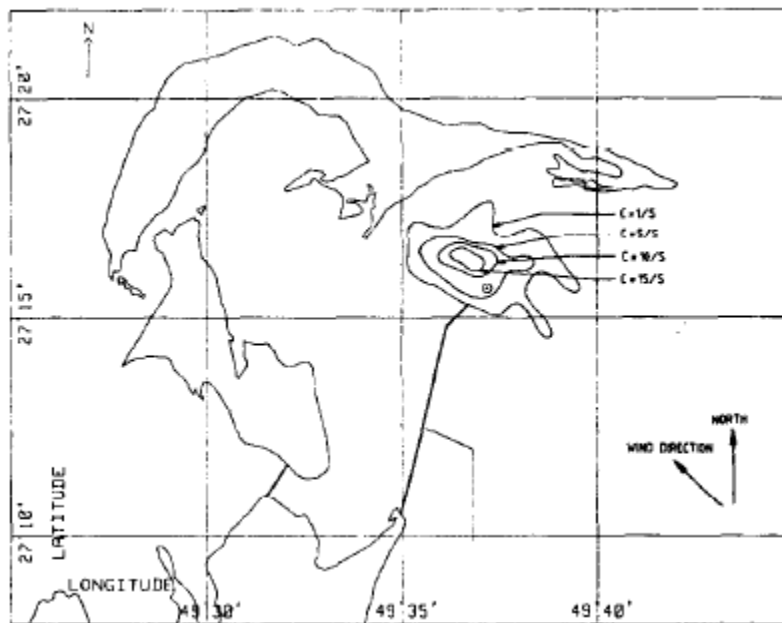
2.3 Stochastic simulation model of oil spill fate and transport in Abu Ali

Οι Al-Rabeh A.H, Cekirge H.M και Gunay N. από το King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran, Saudi Arabia σχεδίασαν ένα ολοκληρωμένο στοχαστικό μοντέλο για να προσομοιάσουν την τύχη και την πορεία μίας πετρελαιοκηλίδας. Το μοντέλο αποτελείται από ένα σύνολο αλγορίθμων που περιγράφουν τις φυσικοχημικές διαδικασίες της γήρανσης του πετρελαίου οι οποίοι έχουν αναπτυχθεί χωριστά και συνδέονται με τις σχετικές διαδικασίες αλλά και με περιβαλλοντικές και άλλες παραμέτρους. Το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για να προσομοιάσει μία επιφανειακή κηλίδα στην περιοχή Abu Ali, στην δυτική πλευρά του Περσικού Κόλπου. Η κηλίδα έχει ρυθμό διαρροής 100 βαρέλια light Arabian oil ανά ώρα και η διάρκεια της διαρροής είναι 10 ώρες. Οι συντεταγμένες της διαρροής είναι περίπου 49°37'N, 27°16'E. Ο άνεμος που επικρατεί έχει κατεύθυνση 45° βόρεια και μέγιστη ταχύτητα 10 m/s. Η θερμοκρασία της θάλασσας είναι 17°C, ενώ η περιοχή γύρω από το σημείο διαρροής αναπαρίσταται σαν ένα πλέγμα 49 x 29 μεγέθους 1 km.

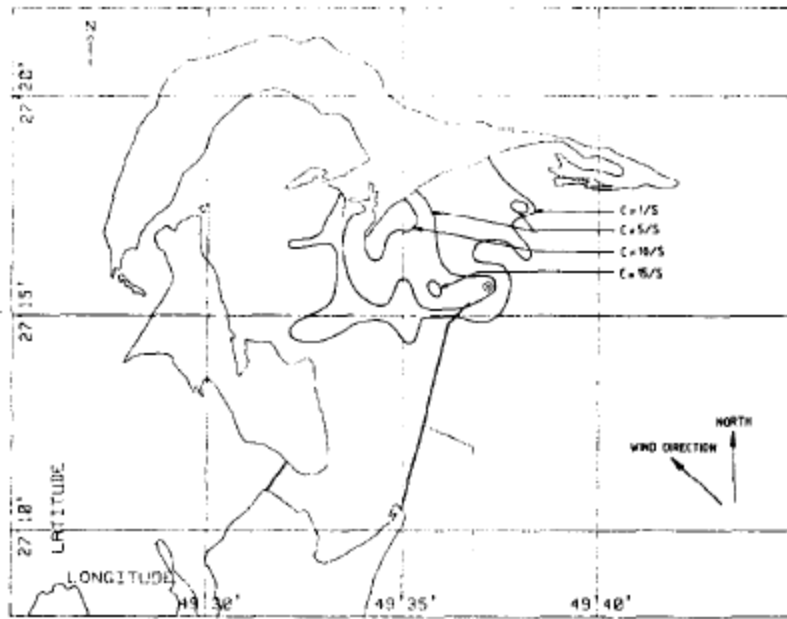
Στα Σχήματα 22-27 παρουσιάζεται η κατάσταση της κηλίδας μετά από 12, 24 και 36 ώρες. Τέλος στο Σχήμα 28 έχουμε την κατάσταση της κηλίδας ανά ώρα για την όλη την διάρκεια της προσομοίωσης.



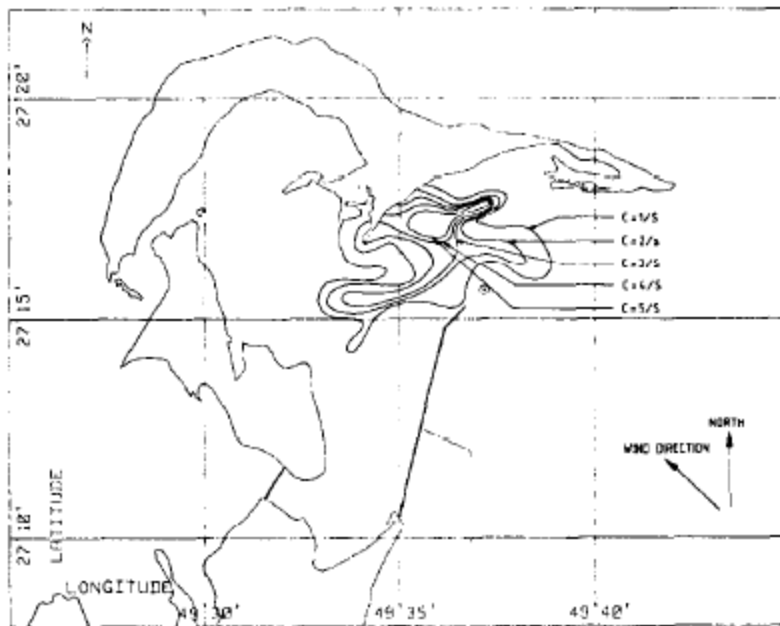
Σχήμα 22. Κατανομή επιφανειακού πετρελαίου μετά από 12 ώρες.



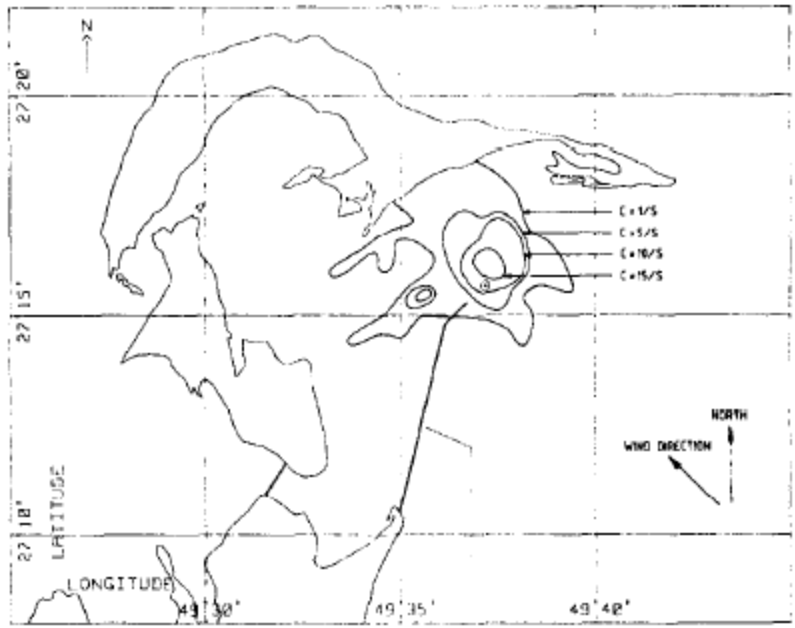
Σχήμα 23. Συνολική ποσότητα πετρελαίου στην θαλάσσια στήλη νερού μετά από 12 ώρες.



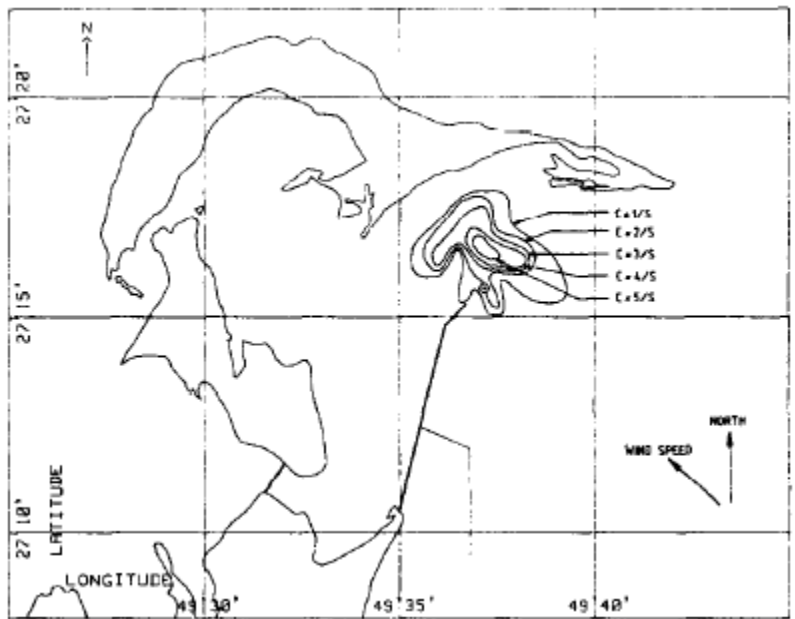
Σχήμα 24. Κατανομή επιφανειακού πετρελαίου μετά από 24 ώρες.



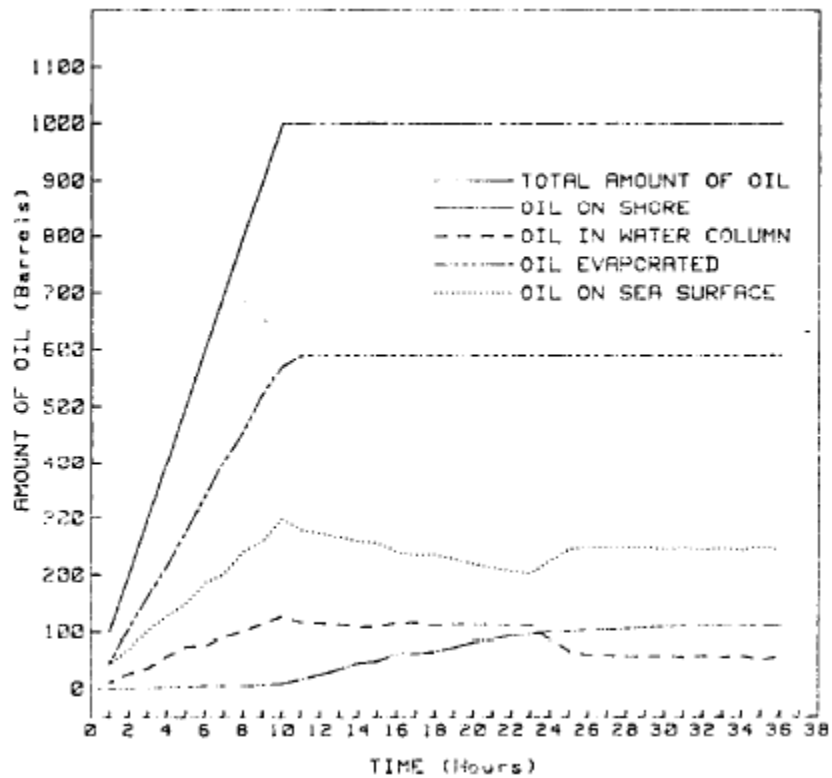
Σχήμα 25. Συνολική ποσότητα πετρελαίου στην θαλάσσια στήλη νερού μετά από 24 ώρες.



Σχήμα 27. Κατανομή επιφανειακού πετρελαίου μετά από 36 ώρες.



Σχήμα 28. Συνολική ποσότητα πετρελαίου στην θαλάσσια στήλη νερού μετά από 36 ώρες.



Σχήμα 29. Συνολική κατάσταση της πετρελαιοκηλίδας.

Το συμπέρασμα της μελέτης αυτής είναι ότι τα αποτελέσματα από το case study δείχνουν ότι το μοντέλο μπορεί να προβλέψει την τύχη και την πορεία πετρελαιοκηλίδων στον Περσικό Κόλπο με ικανοποιητική ακρίβεια για ένα σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα.

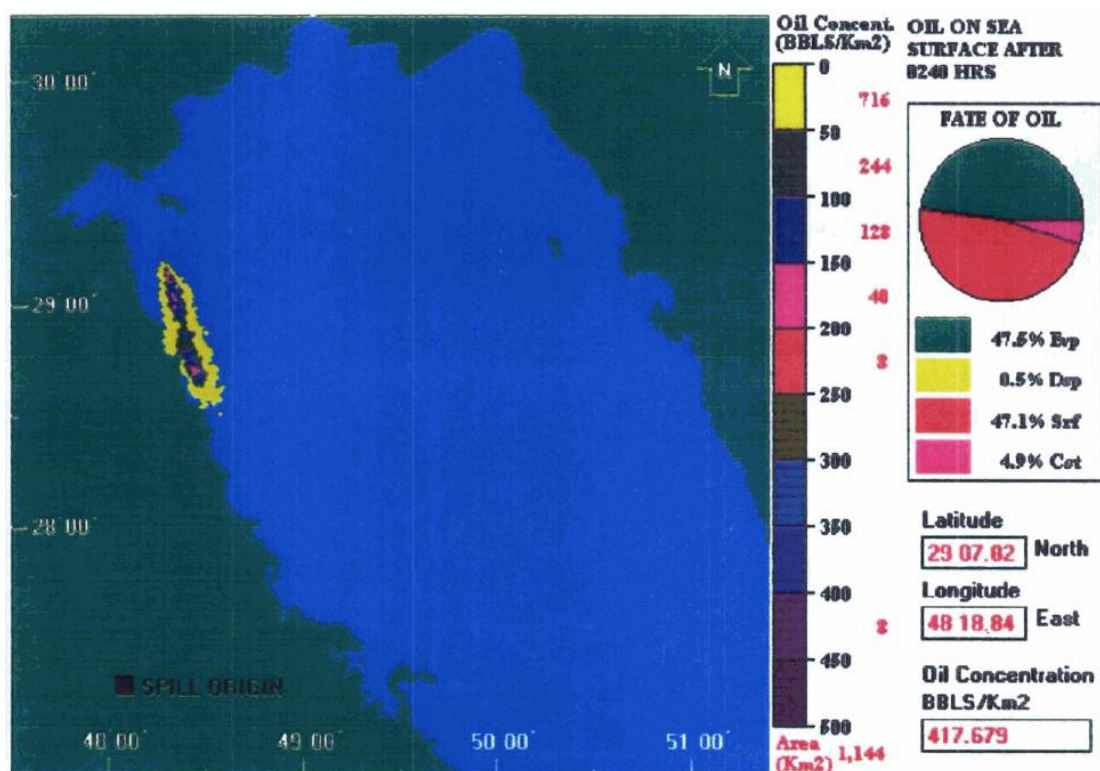
2.4 OILPOL- Simulation of the Al-Ahmadi oil spill

Κατά την διάρκεια της περιόδου από τον Ιανουάριο μέχρι τον Μάιο του 1991, αρκετό πετρέλαιο είχε χυθεί στον Περσικό Κόλπο από δεξαμενόπλοια και τερματικούς σταθμούς στο Mina Al-Ahmadi, Mina Al-Bakr και Mina Abdallah. Το μέγεθος της κηλίδας δεν είναι γνωστό με ακρίβεια λόγω εχθροπραξιών αλλά οι Al-Rabeh, Cekirge και Gunay (1992), εκτιμούν ότι πιθανώς περίπου 3 εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου διέρρευσαν στην περιοχή της Mina Al-Ahmadi την περίοδο από τις 19 Ιανουαρίου έως τις 29 Ιανουαρίου. Ταυτόχρονα άλλο ένα μισό εκατομμύριο βαρέλια πετρελαίου διέρρευσαν από άλλες περιοχές κατά την διάρκεια μίας περιόδου 3 μηνών.

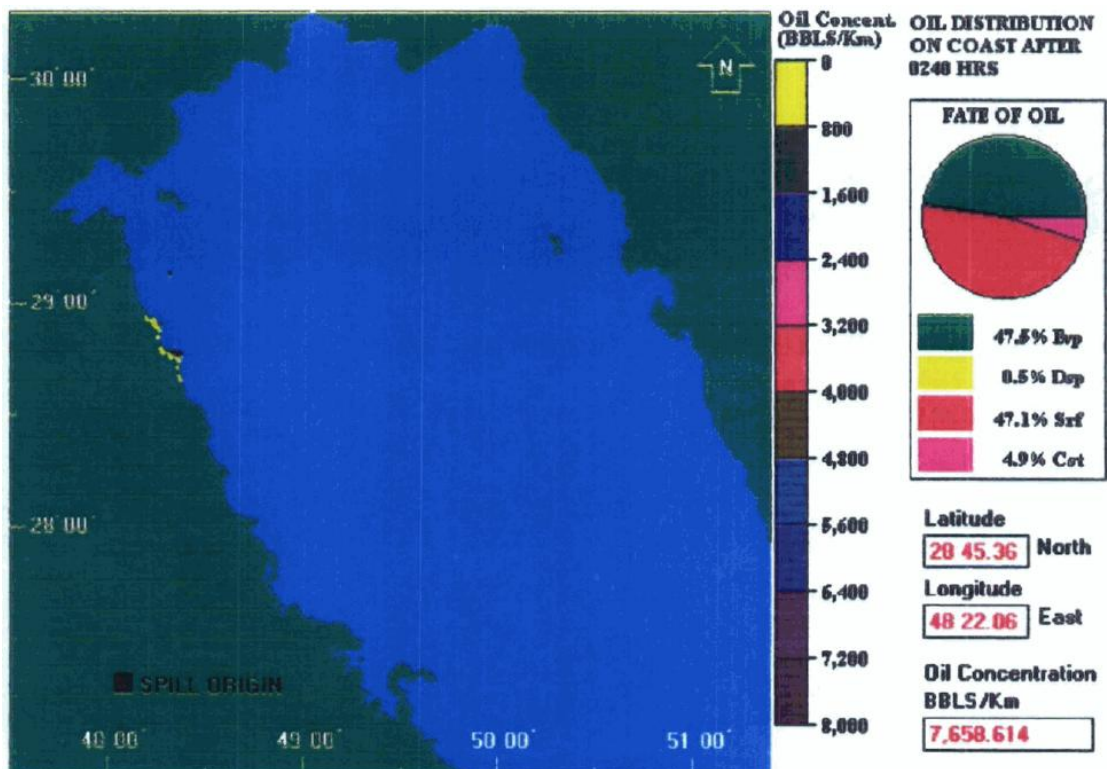
Η κύρια πετρελαιοκηλίδα από το Al-Ahmadi προσομοιάστηκε με την χρήση του προγράμματος OILPOL. Θεωρήθηκε ρυθμός διαρροής της τάξης των 12.500 βαρελιών ανά ώρα για μία περίοδο 10 ημερών ξεκινώντας από τις 00.00 στις 19

Ιανουαρίου. Τα ρεύματα δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας τόσο την κατεύθυνση του ανέμου όσο και τα παλιρροιακά ρεύματα. Τα ανεμολογικά δεδομένα αντλήθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό Saudi Aramco's Safaniya GOSP II. Στο **Σχήμα 30** βλέπουμε την κατανομή του επιφανειακού πετρελαίου μετά τις πρώτες 10 ημέρες, ενώ στο **Σχήμα 31** την κατανομή του πετρελαίου που έχει εναποτεθεί στην ακτή την ίδια στιγμή. Στην συνέχεια ακολουθούν τα **Σχήματα 32-37** όπου φαίνονται οι παραπάνω κατανομές για 30, 40 και 59 ημέρες μετά την έναρξη της προσομοίωσης. Στο **Σχήμα 37** το μεγαλύτερο μέρος του πετρελαίου στην ακτή φαίνεται να έχει μόνιμα εναποτεθεί στη παραλία.

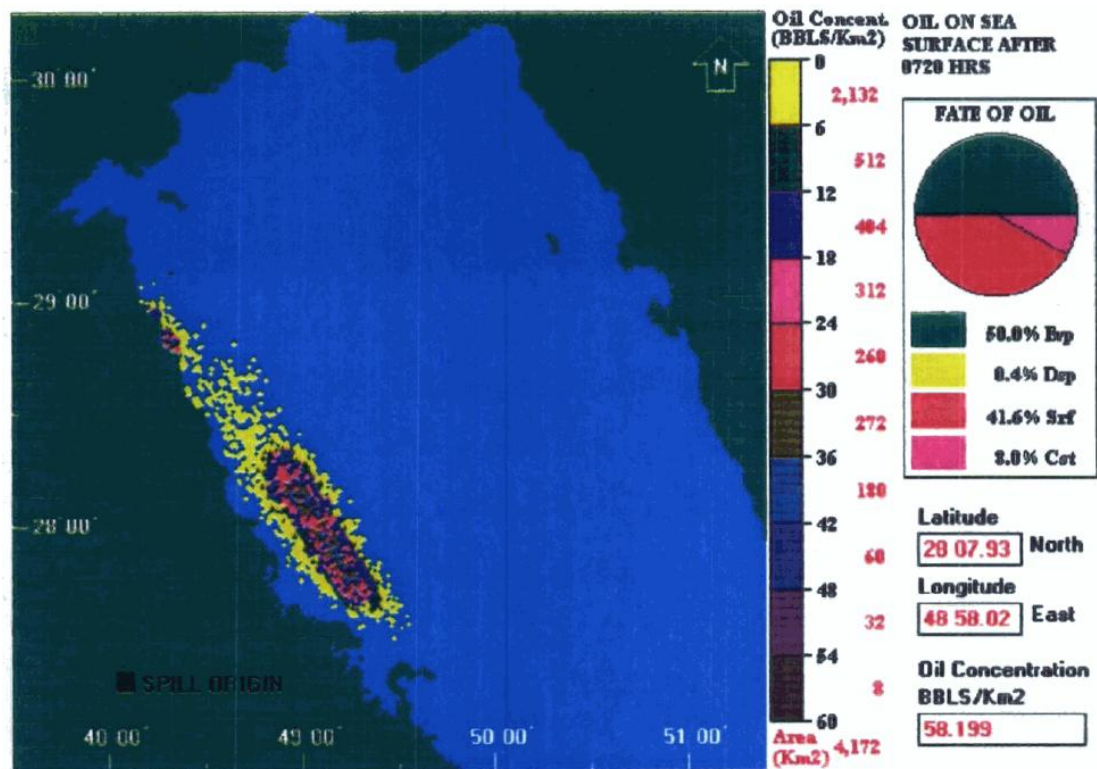
Οι μεγαλύτερες αποθέσεις φαίνεται να είναι σε δύο περιοχές, η πρώτη λίγο νότια του σημείου διαρροής στο Al-Ahmadi και η δεύτερη στην ακτή της Σαουδικής Αραβίας μεταξύ Tanajib και Abu Ali καθώς επίσης και στην βόρεια ακτή του νησιού Abu Ali. Μεταξύ αυτών των δύο περιοχών οι παράκτιες αποθέσεις πετρελαίου δεν είναι τόσο μεγάλες. Οι προβλέψεις αυτές του OILPOL φαίνονται να είναι σε γενικές γραμμές συνεπείς με τις παρατηρήσεις της θέσης της πραγματικής κηλίδας.



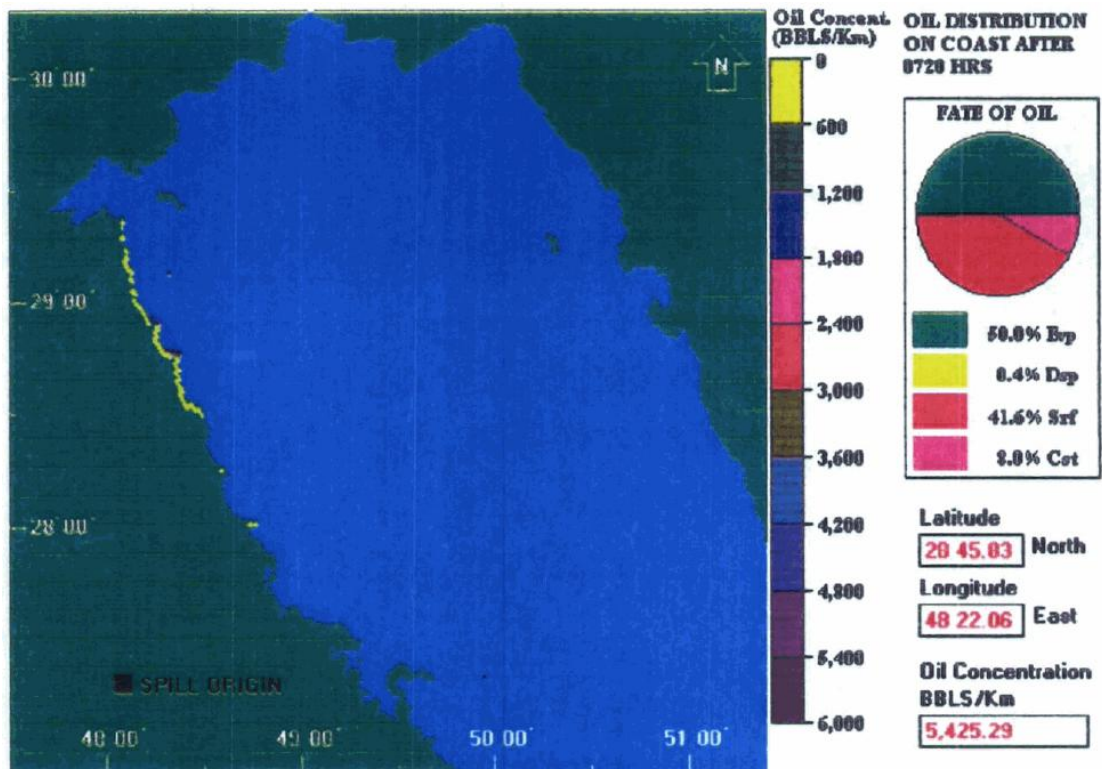
Σχήμα 30. Κατανομή επιφανειακού πετρελαίου μετά τις πρώτες 10 ημέρες.



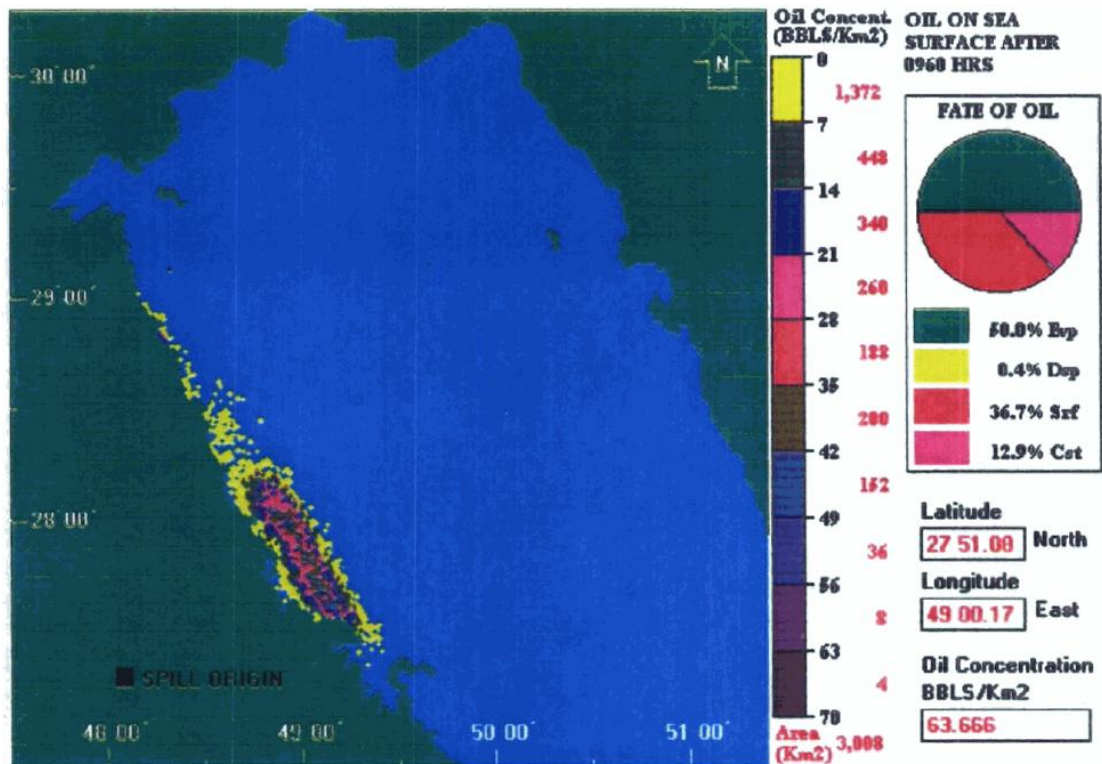
Σχήμα 31. Κατανομή πετρελαίου που έχει εναποτεθεί στην ακτή μετά από τις πρώτες 10 ημέρες.



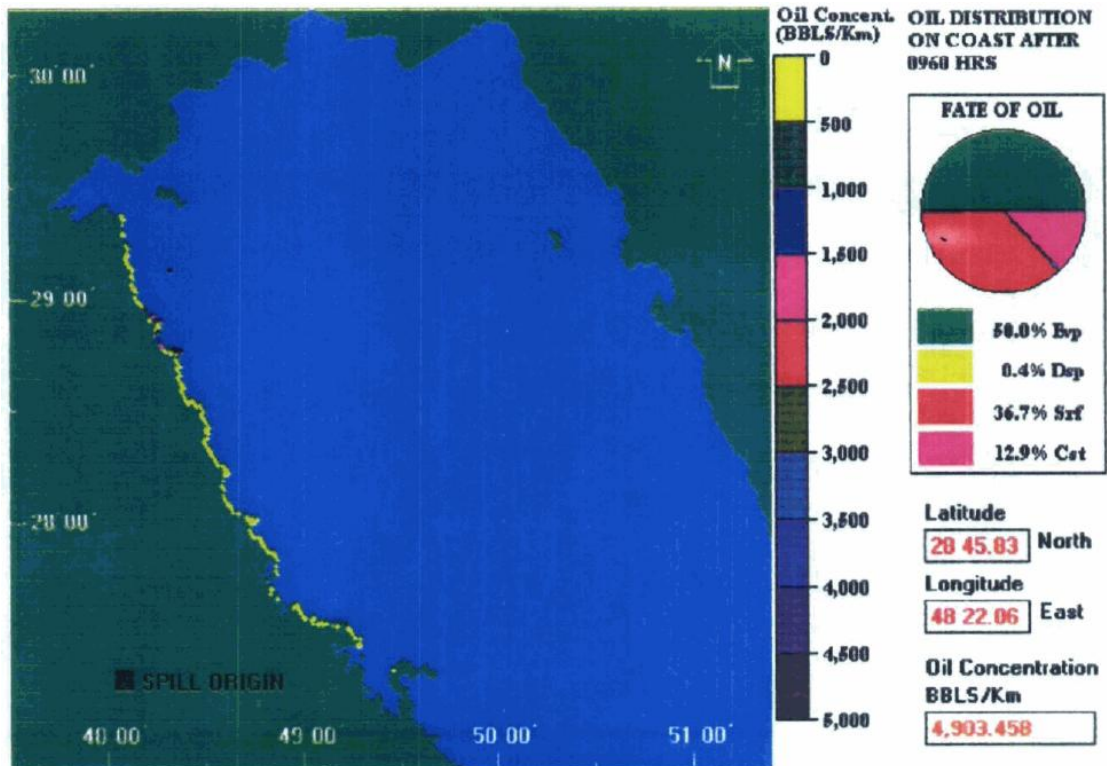
Σχήμα 32. Κατανομή επιφανειακού πετρελαίου 30 ημέρες μετά την έναρξη της διαρροής.



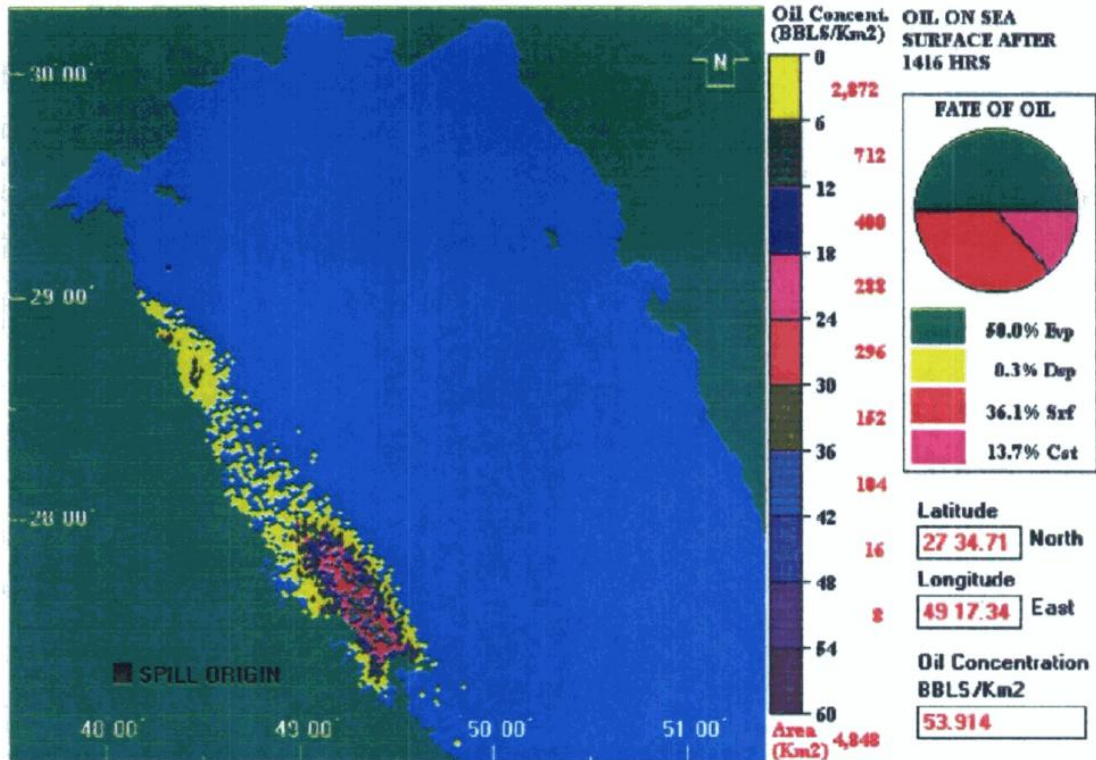
Σχήμα 33. Κατανομή πετρελαίου που έχει εναποτεθεί στην ακτή 30 ημέρες μετά την έναρξη της διαρροής.



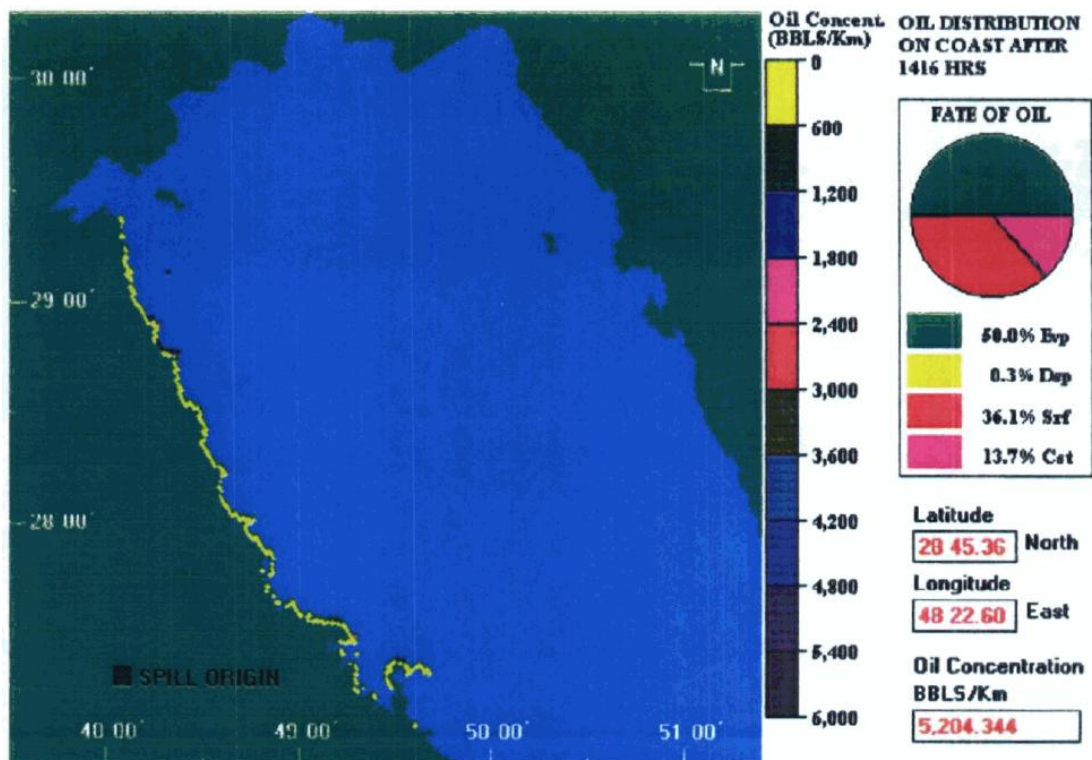
Σχήμα 34. Κατανομή επιφανειακού πετρελαίου 40 ημέρες μετά την έναρξη της διαρροής.



Σχήμα 35. Κατανομή πετρελαίου που έχει εναποτεθεί στην ακτή 40 ημέρες μετά την έναρξη της διαρροής.



Σχήμα 36. Κατανομή επιφανειακού πετρελαίου 59 ημέρες μετά από την έναρξη της διαρροής.



Σχήμα 37. Κατανομή πετρελαίου που έχει εναποτεθεί στην ακτή 59 ημέρες μετά από την έναρξη της διαρροής.

Κεφάλαιο 3. Περιγραφή προγράμματος Memw-Oscar

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μία περιγραφή του προγράμματος και των βημάτων που πρέπει να ακολουθήσει κάποιος προκειμένου να χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα Oscar. Το πρόγραμμα Oscar (**O**il **S**pill **C**ontingency **A**nd **R**esponse) είναι ένα μοντέλο που χρησιμοποιείται σαν εργαλείο για την ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών συνεπειών των πετρελαιοκηλίδων και της αποτελεσματικότητας των διαφόρων στρατηγικών αντιμετώπισης. Το Oscar προσομοιώνει την τύχη και την γήρανση του πετρελαίου, όταν αυτό διαρρέυσει στην θάλασσα και υπολογίζει τις πιθανές βιολογικές επιδράσεις. Το Oscar χρησιμοποιείται για τους παρακάτω σκοπούς:

- Ανάλυση και αντιμετώπιση διαρροών πετρελαίου
- Σχεδιασμό έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση πετρελαιοκηλίδας
- Ανάλυση βιολογικών επιπτώσεων που προκύπτουν από διαρροές πετρελαίου και άλλων χημικών ουσιών
- Στοχαστική ανάλυση κινδύνου

Το μοντέλο χρησιμοποιεί σωματίδια για τον υπολογισμό της μετακίνησης, της συμπεριφοράς και επιπτώσεων των ρυπαντών που εκλύονται στο περιβάλλον. Ορισμένα σωματίδια είναι αυστηρά Lagrangian υπό την έννοια ότι μεταφέρονται με το περιβάλλον νερό. Παράδειγμα είναι τα σωματίδια που εκπροσωπούν τις διαλυμένες ουσίες καθώς και εκείνα που αντιπροσωπεύουν το παθητικά παρασυρόμενο πλαγκτόν. Σωματίδια που εκπροσωπούν σταγονίδια στην στήλη νερού είναι ψευδό-Lagrangian, καθώς η κίνηση τους επηρεάζεται από την κατακόρυφη ανύψωση ή την ταχύτητα καθίζησης, οι οποίες υπερέχουν της μεταθετικής και ταραχώδους κίνησης του νερού που τα περιβάλλει. Όλα τα σωματίδια του μοντέλου έχουν μία στοχαστική και πιθανοτική συνιστώσα στην κίνησή τους. Αυτό σημαίνει ότι δύο προσομοιώσεις του ίδιου σεναρίου δεν θα παράγουν ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα.

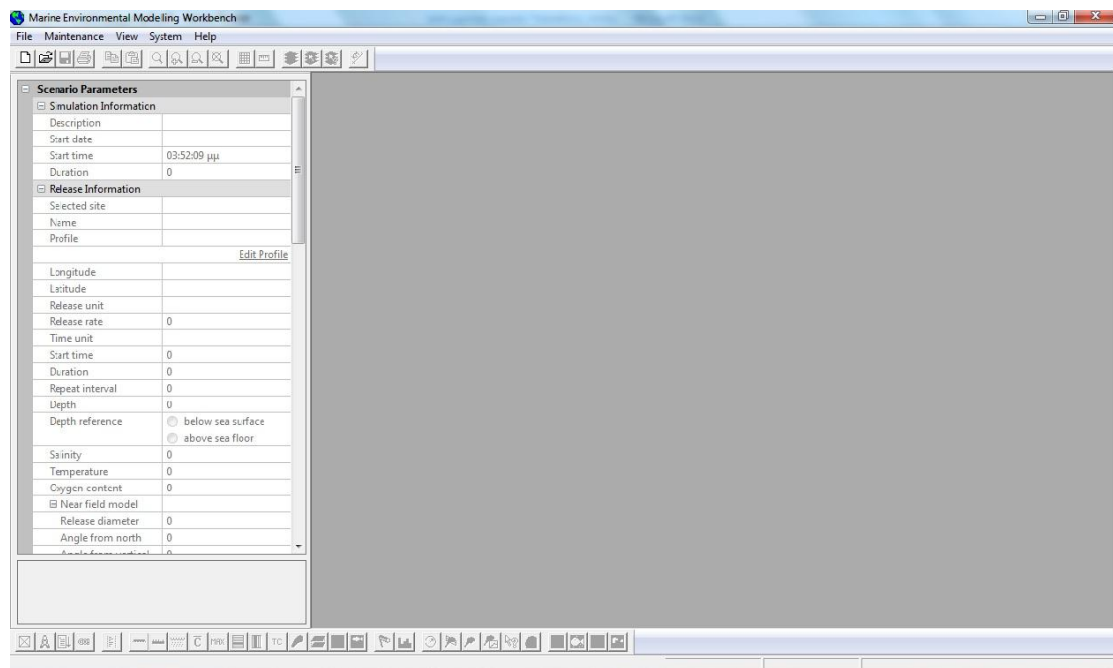
3.2 Κατασκευάζοντας ένα σενάριο

Τα βασικά βήματα κατασκευής ενός σεναρίου είναι τα εξής:

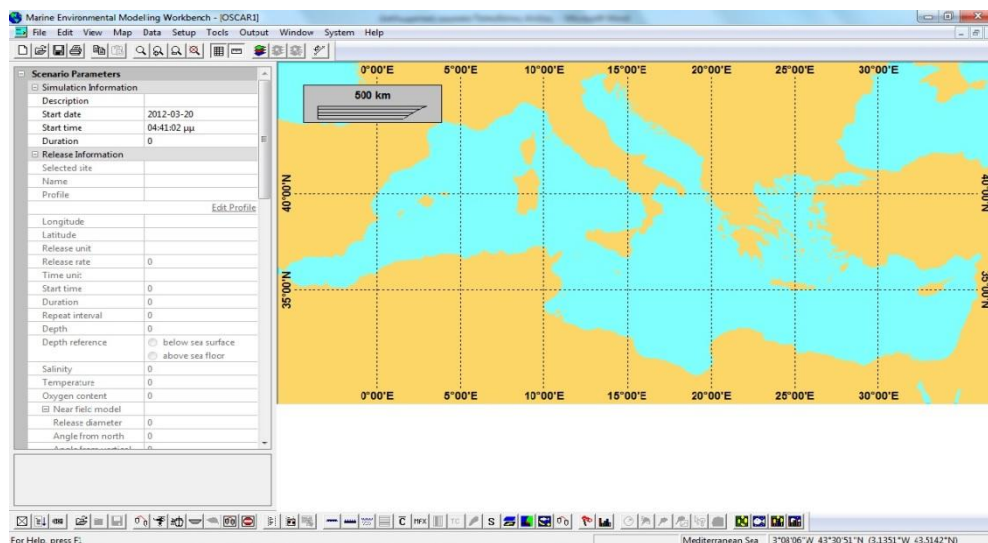
- Δημιουργία του προφίλ του πετρελαίου που διαρρέει
- Δημιουργία του προφίλ της διαρροής
- Καθορισμός της γεωγραφικής θέσης της διαρροής
- Δημιουργία πλέγματος οικότοπου και βάθους
- Δημιουργία/Εισαγωγή αρχείου ανέμου
- Δημιουργία/Εισαγωγή αρχείου θαλασσίων ρευμάτων
- Καθορισμός των παραμέτρων του σεναρίου
- Τρέξιμο σεναρίου

3.2.1 Αρχικό παράθυρο προγράμματος

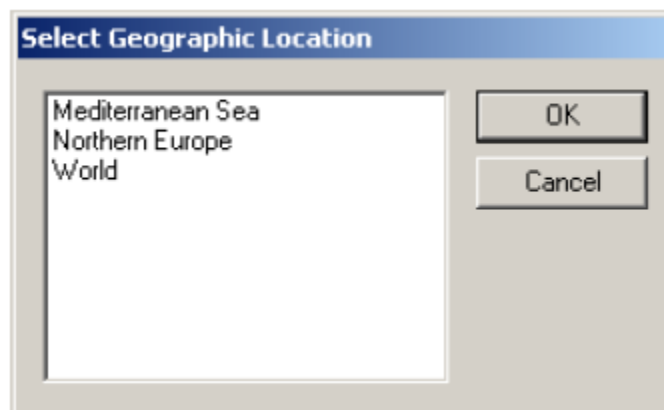
Αρχικά ο χρήστης ανοίγει το πρόγραμμα είτε από το εικονίδιο στην επιφάνεια εργασίας, είτε από το αρχείο MEMW.exe που βρίσκεται στον φάκελο MEMW. Ανοίγοντας λοιπόν το πρόγραμμα εμφανίζεται το αρχικό παράθυρο λειτουργίας (Σχήμα 38). Για να ξεκινήσουμε ένα νέο σενάριο επιλέγουμε *File/New* και στην συνέχεια εμφανίζεται ο γεωγραφικός χάρτης της περιοχής (Σχήμα 39) που έχουμε εγκαταστήσει. Σημειώνεται ότι για τον σκοπό της παρούσας διπλωματικής έχει εγκατασταθεί στο πρόγραμμα μόνο ο χάρτης της Μεσογείου. Σε περίπτωση που υπάρχουν δύο ή και περισσότεροι εγκατεστημένοι χάρτες μετά την επιλογή *File/New* εμφανίζεται το παράθυρο επιλογής γεωγραφικής περιοχής (Σχήμα 40).



Σχήμα 38. Αρχικό παράθυρο λειτουργίας προγράμματος Oscar.



Σχήμα 39. Γεωγραφικός χάρτης επιλεγμένης περιοχής

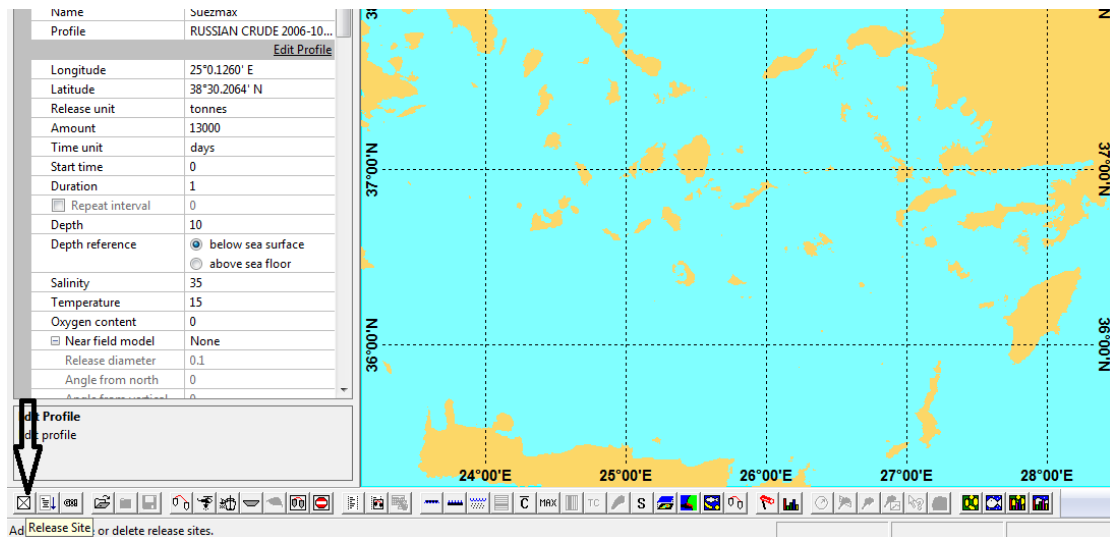


Σχήμα 40. Παράθυρο επιλογής γεωγραφικής περιοχής.

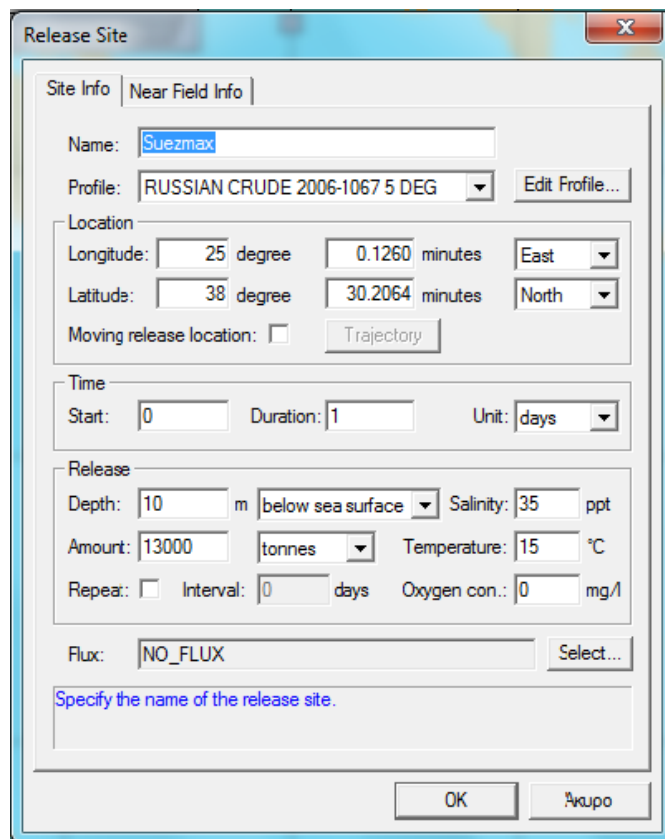
3.2.2 Εισαγωγή δεδομένων σημείου διαρροής

Στην συνέχεια ο χρήστης καλείται να τοποθετήσει πάνω στον χάρτη το σημείο διαρροής και να δώσει τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με τον τύπο πετρελαίου, τον ρυθμό και την διάρκεια της διαρροής, το μέγεθος της διαρροής κ.α. Αυτό γίνεται πατώντας το εικονίδιο *Release site* που βρίσκεται στην μπάρα κάτω αριστερά (Σχήμα 41) και τοποθετώντας με τον δείκτη του ποντικιού το σημείο διαρροής πάνω στον χάρτη. Αμέσως μετά εμφανίζεται το παράθυρο (Σχήμα 42) στο οποίο καλούμαστε να δώσουμε όλες τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με το σημείο διαρροής όπως το όνομα της κηλίδας, το προφίλ του πετρελαίου που διαρρέει, τη διάρκεια της διαρροής, το βάθος του σημείου διαρροής, την συνολική ποσότητα του πετρελαίου που διαρρέει στην θάλασσα, καθώς και άλλες δευτερεύουσες πληροφορίες όπως την αλατότητα, την θερμοκρασία και την περιεκτικότητα της θάλασσας σε οξυγόνο.

Το προφίλ του πετρελαίου που θα χρησιμοποιήσει ο χρήστης μπορεί είτε να το δημιουργήσει μόνος του, είτε να το επιλέξει από μία βιβλιοθήκη που διαθέτει το πρόγραμμα με διάφορα είδη πετρελαίου. Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι πετρελαίου, το HFO 380 και το RUSSIAN CRUDE 2006-1067 5 DEG τα οποία υπάρχουν έτοιμα στην βιβλιοθήκη του προγράμματος. Αφού έχουμε δημιουργήσει το προφίλ της πετρελαιοκηλίδας όλες οι πληροφορίες που εισάγαμε εμφανίζονται στο *input panel* που βρίσκεται στην πλαϊνή μπάρα της οθόνης. Από εκεί μπορούμε επίσης να δώσουμε και άλλες παραμέτρους του σεναρίου, όπως την ημερομηνία, την ώρα έναρξης και την διάρκεια της εξομίωσης της κηλίδας.



Σχήμα 41. Εισαγωγή πετρελαιοκηλίδας πάνω στον χάρτη.



Σχήμα 42. Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων πετρελαιοκηλίδας.

3.2.3 Εισαγωγή παραμέτρων σεναρίου

Σε αυτό το στάδιο ο χρήστης καλείται να εισάγει όλες τις παραμέτρους που είναι απαραίτητες προκειμένου να στηθεί σωστά ένα σενάριο. Από το *Setup/Scenario Parameters* εμφανίζεται το παράθυρο *Release information* (Σχήμα 43) το οποίο αρχικά μας δίνει όλες τις πληροφορίες που έχουμε εισάγει σχετικά με την κηλίδα μας. Πατώντας *Επόμενο* περνάμε στην καρτέλα *Oil Spill Submodel* (Σχήμα 44) όπου

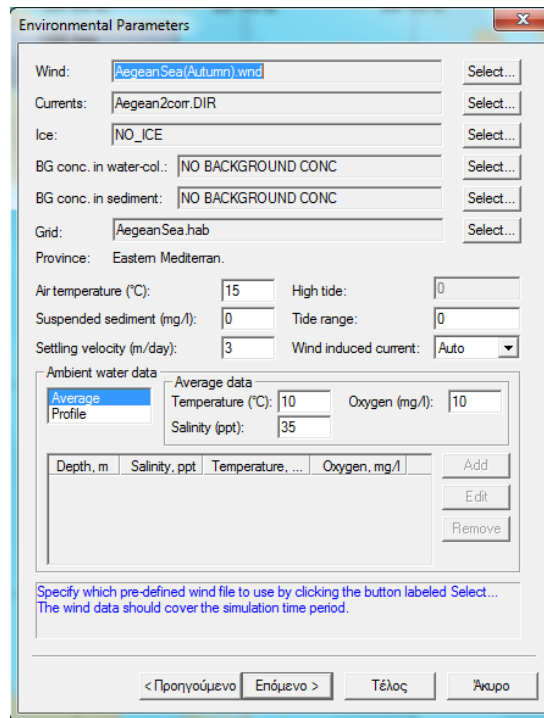
εισάγουμε πληροφορίες για υπομοντέλα του προγράμματος όπως τρόπους αντιμετώπισης της πετρελαιοκηλίδας (εφόσον μας ενδιαφέρει να ασχοληθούμε και με την περισυλλογή του πετρελαίου από την θάλασσα). Επιλέγουμε επίσης και τον αλγόριθμο της γήρανσης του πετρελαίου που θέλουμε να χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα. Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκε αλγόριθμος που χρησιμοποιεί τις σταθερές του Mackay. Στην επόμενη καρτέλα *Environmental Parameters* (Σχήμα 45) εισάγουμε όλες τις περιβαλλοντικές παραμέτρους του σεναρίου.

Name	Profile	Amount/Rate	Unit	Start	Duration
Suezm...	RUSSIAN CRUDE ...	13000.0	tonnes	0.0	1.0

Σχήμα 43. Παράθυρο πληροφοριών πετρελαιοκηλίδας.

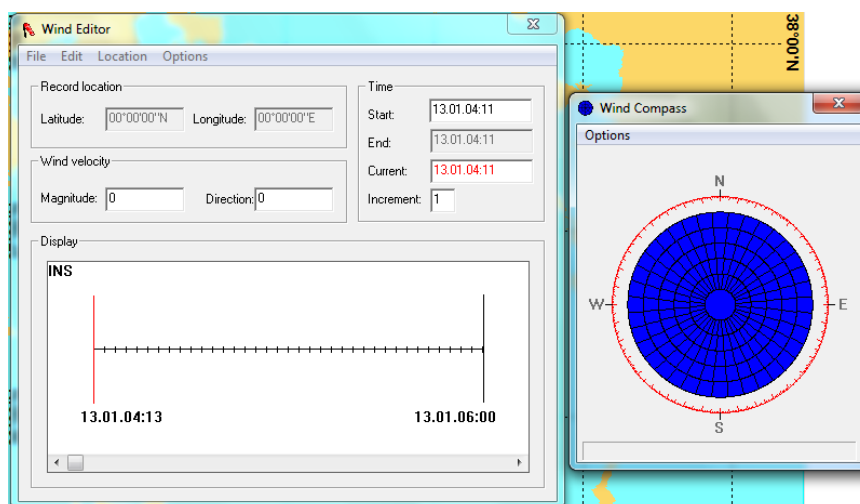
Specify which predefined response file to use.

Σχήμα 44. Παράθυρο για εισαγωγή πληροφοριών υπομοντέλων του προγράμματος.



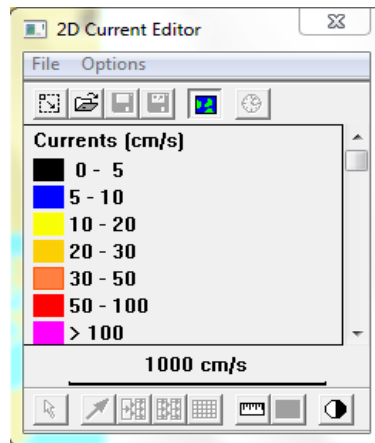
Σχήμα 45. Παράθυρο εισαγωγής περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Αρχικά επιλέγουμε τον άνεμο που επικρατεί στην περιοχή. Το αρχείο του ανέμου δημιουργείται από το *Setup/Single Point Winds*. Στο παράθυρο που εμφανίζεται (Σχήμα 46) αρχικά δίνουμε το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της κηλίδας. Στην συνέχεια καθορίζουμε την χρονική περίοδο για την οποία θα ισχύουν οι συνθήκες που θα δώσουμε καθώς και το βήμα αλλαγής των συνθηκών. Τέλος εισάγουμε την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου, η οποία μπορεί να είναι είτε σταθερή σε όλη την χρονική περίοδο που έχουμε επιλέξει, είτε να μεταβάλλεται ανά χρονικά διαστήματα ίσα με το βήμα επιλογής.



Σχήμα 46. Δημιουργία αρχείου ανέμου.

Στην συνέχεια καλούμαστε να εισάγουμε το αρχείο με τα θαλάσσια ρεύματα της περιοχής. Από το *Setup* επιλέγουμε *2-D current grid* και εμφανίζεται το παράθυρο *2D Current Editor* (Σχήμα 47).

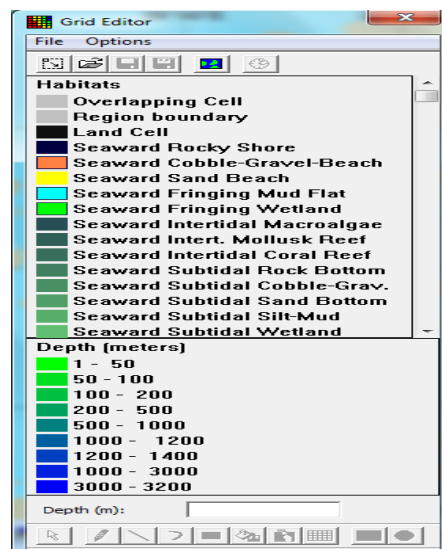


Σχήμα 47. Παράθυρο δημιουργίας ρευμάτων.

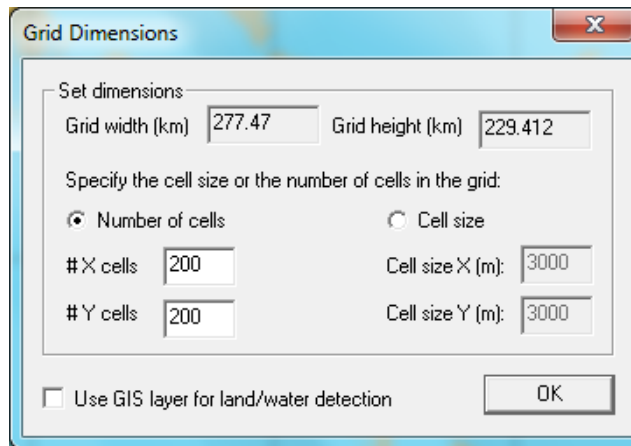
Επιλέγουμε το εικονίδιο *new grid* και μαρκάρουμε την περιοχή στην οποία θέλουμε να σχεδιάσουμε τα ρεύματα. Στην συνέχεια από το εικονίδιο *draw current* σχεδιάζουμε υπό μορφή βελών τα θαλάσσια ρεύματα στα οποία δίνουμε διεύθυνση και ταχύτητα. Αφού έχουμε σχεδιάσει ενδεικτικά κάποια βέλη στην επιλεγμένη περιοχή πατώντας το κουμπί *spread* γεμίζουμε το πλέγμα βάση των βελών που έχουμε σχεδιάσει.

Τέλος στην επιλογή *grid* εισάγουμε το πλέγμα της περιοχής που θέλουμε να μελετήσουμε. Για να δημιουργήσουμε ένα πλέγμα με την μορφολογία των ακτών και τα διάφορα βάθη της θάλασσας στην περιοχή που μας ενδιαφέρει επιλέγουμε *Setup/Habitat and Depths* και εμφανίζεται το παράθυρο *grid editor* (Σχήμα 48).

Από εκεί πατώντας το πάνω αριστερό κουμπί *New grid* σχεδιάζουμε το πλέγμα της περιοχής και στην συνέχεια καθορίζουμε τον αριθμό των κελιών στις δύο διευθύνσεις του πλέγματος (Σχήμα 49).

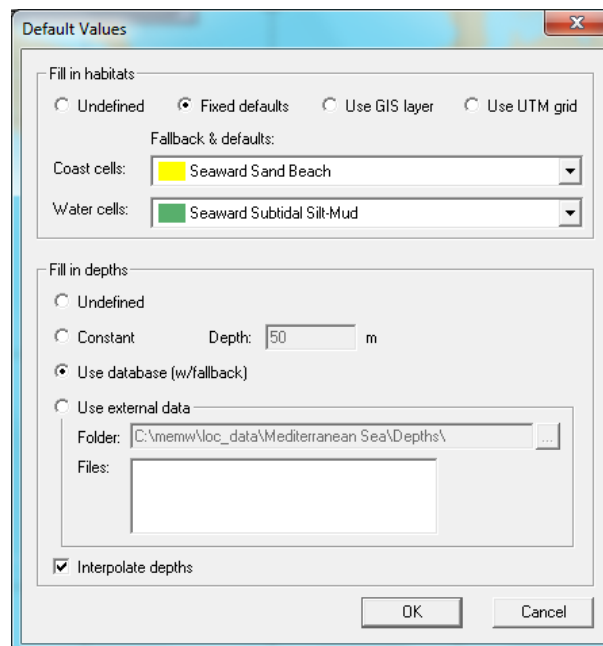


Σχήμα 48. Παράθυρο δημιουργίας πλέγματος περιοχής.



Σχήμα 49. Εισαγωγή διαστάσεων πλέγματος.

Μπορούμε είτε να δώσουμε συγκεκριμένο αριθμό κελιών είτε να ορίσουμε το μέγεθός τους. Στο επόμενο παράθυρο που ακολουθεί (Σχήμα 50) επιλέγουμε τον τύπο των ακτών, την μορφολογία του βυθού και το βάθος της θάλασσας. Επιλέγουμε σταθερή μορφολογία για τον βυθό και τις ακτές, ενώ τα βάθη της θάλασσας τα λαμβάνουμε από την βάση δεδομένων του προγράμματος.

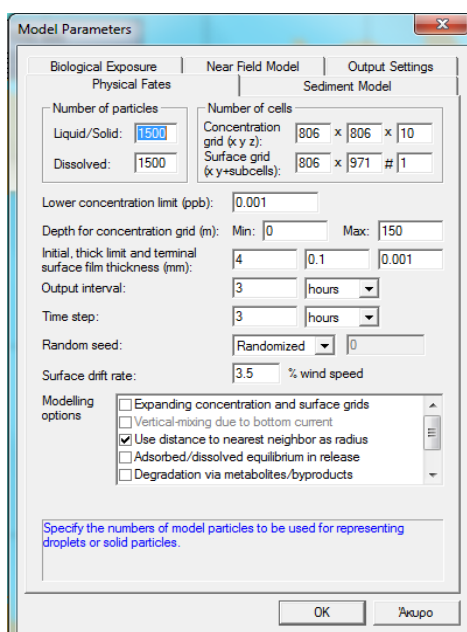


Σχήμα 50. Εισαγωγή χαρακτηριστικών πλέγματος.

3.2.4 Εισαγωγή παραμέτρων μοντέλου

Σε αυτό το στάδιο καλούμαστε να καθορίσουμε διάφορες παραμέτρους του μοντέλου οι οποίες επηρεάζουν την ακρίβεια, την ανάλυση στον χώρο και στον χρόνο, το μέγεθος των εξαγόμενων αρχείων και την ταχύτητα υπολογισμών του προγράμματος. Από το *Setup/Model Parameters* ανοίγει το παρακάτω παράθυρο (Σχήμα 51). Στην

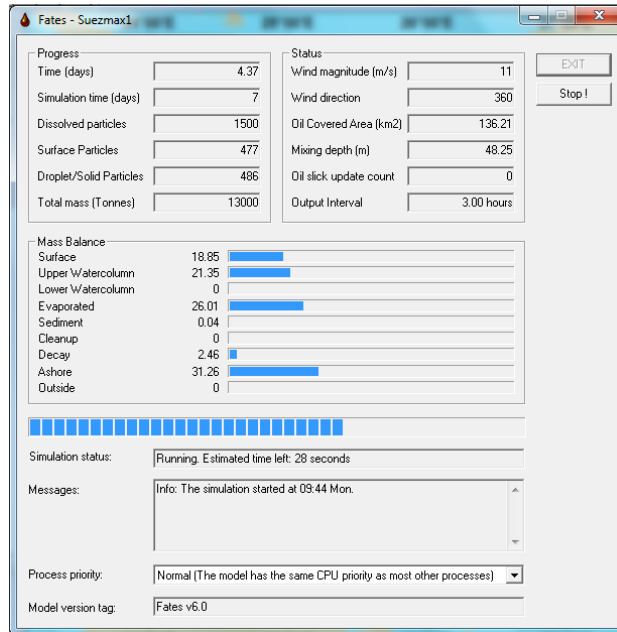
βασική καρτέλα *Physical Fates*, στην οποία θα κάνουμε και διάφορες αλλαγές, εισάγουμε όλες τις βασικές παραμέτρους που θα καθορίσουν την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Αρχικά ορίζουμε τον αριθμό των σωματιδίων που θα αναπαραστήσουν το πετρέλαιο που βρίσκεται σε υγρή/στερεή μορφή καθώς και το διαλυμένο πετρέλαιο. Στην παρούσα διπλωματική εργασία οι τιμές που δώσαμε είναι 1500 σωματίδια για όλες τις μορφές πετρελαίου. Στην επιλογή *Number of cells* ορίζουμε τον αριθμό των κελιών στις τρεις διαστάσεις x, y, z για το πλέγμα που θα αναπαραστήσει την συγκέντρωση του πετρελαίου, καθώς και τον αριθμό των κελιών του επιφανειακού πλέγματος. Οι τιμές αυτές αρχικά ορίζονται αυτόματα, ώστε να συμπίπτουν οι αναλύσεις των δύο αυτών πλεγμάτων με την ανάλυση του πλέγματος της περιοχής που ορίσαμε προηγουμένως. Στην ίδια καρτέλα δίνουμε τιμές για το βάθος μέχρι το οποίο μας ενδιαφέρει να μελετήσουμε την συγκέντρωση του πετρελαίου, το κατώτατο όριο της συγκέντρωσης και το οριακό πάχος του επιφανειακού πετρελαίου. Επίσης ορίζουμε το χρονικό βήμα με το οποίο θα γίνονται οι υπολογισμοί του προγράμματος καθώς και το διάστημα εξόδου των αποτελεσμάτων. Τέλος καθορίζουμε και τον ρυθμό της επιφανειακής εκτροπής του πετρελαίου, όπου ισχύει ο κανόνας του 3,5%, δηλαδή ότι μόνο το 3,5% της ταχύτητας του ανέμου επηρεάζει το πετρέλαιο που βρίσκεται στην επιφάνεια της θάλασσας.



Σχήμα 51. Παράθυρο εισαγωγής παραμέτρων μοντέλου.

3.3 Τρέξιμο προσομοίωσης σεναρίου και αποτελέσματα

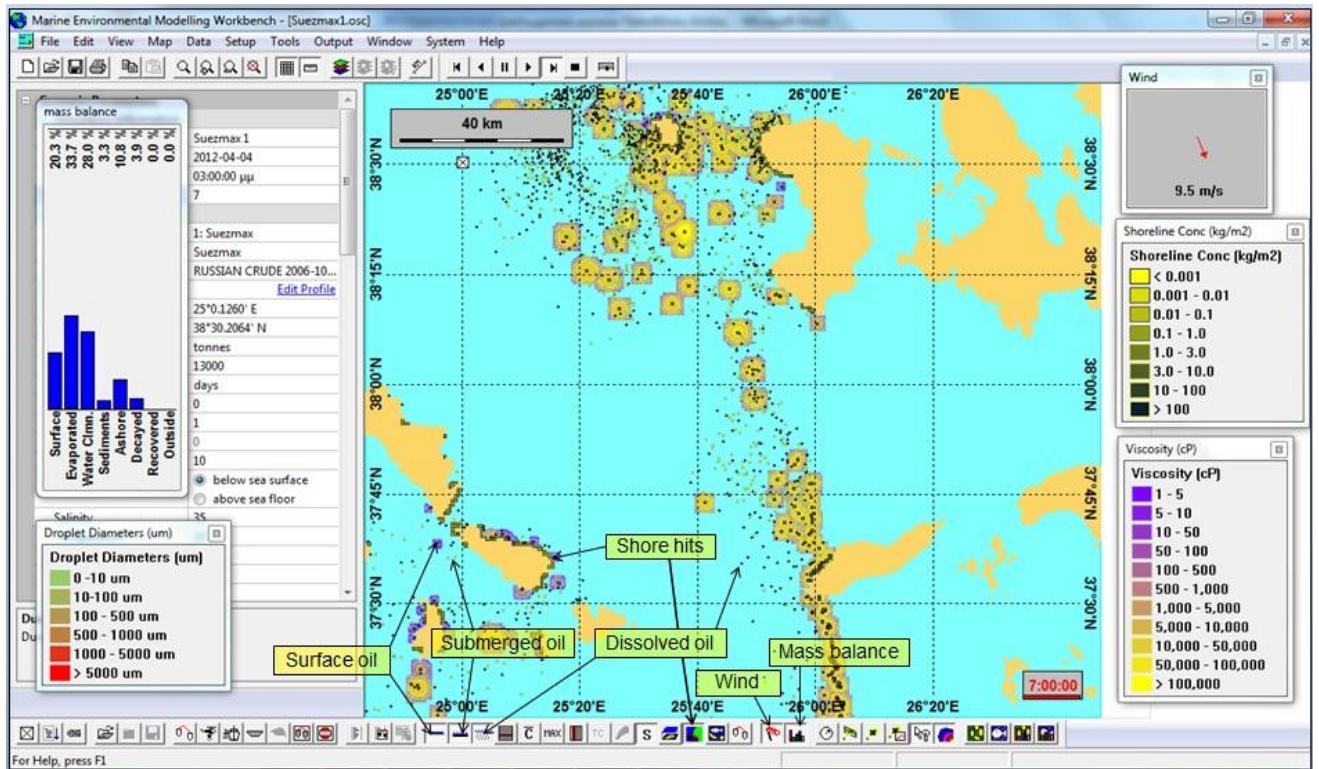
Τέλος αφού έχουμε ολοκληρώσει όλες τις ρυθμίσεις, επιλέγοντας *Setup/Run model* τρέχουμε το σενάριο που κατασκευάσαμε. Εμφανίζεται αμέσως το παράθυρο *Fates* (Σχήμα 52) στο οποίο καταγράφεται η πρόοδος των υπολογισμών καθώς και διάφορες πληροφορίες σχετικά με τα εξαγόμενα αποτελέσματα.



Σχήμα 52. Εκτελώντας την προσομοίωση

Μόλις ολοκληρωθούν οι υπολογισμοί είμαστε σε θέση να δούμε αναλυτικά τα αποτελέσματα. Το πρόγραμμα είναι εφοδιασμένο με πολλά εργαλεία αναπαράστασης των αποτελεσμάτων. Υπάρχει η δυνατότητα αναπαράστασης της προσομοίωσης με την μορφή animation, όπου ο χρήστης μπορεί να δει πως κατευθύνεται η πετρελαιοκηλίδα σε όλη την διάρκεια της προσομοίωσης. Μπορεί να δει ξεχωριστά πως κατευθύνεται το επιφανειακό πετρέλαιο, το πετρέλαιο που βρίσκεται στην θαλάσσια στήλη νερού καθώς και το διαλυμένο πετρέλαιο. Επίσης μπορεί να δει αναλυτικά ποιες ακτές θα χτυπηθούν από την κηλίδα και να υπολογίσει ξεχωριστά την ποσότητα του πετρελαίου σε κάθε ακτή.

Κατά την διάρκεια του animation εμφανίζεται ο πίνακας που δείχνει καθ' όλη την διάρκεια της προσομοίωσης το ισοζύγιο της μάζας του πετρελαίου. Δείχνει δηλαδή σε κάθε χρονική στιγμή τι ποσοστό του πετρελαίου βρίσκεται στην επιφάνεια της θάλασσας, τι ποσοστό έχει εξατμιστεί, τι ποσοστό έχει διαλυθεί, τι ποσοστό έχει φτάσει σε κάποια ακτή και διάφορα άλλα. Όλες οι παραπάνω επιλογές εμφανίζονται στο Σχήμα 53.



Σχήμα 53. Αναπαραγωγή προσομοίωσης σεναρίου.

Κεφάλαιο 4. Το ατύχημα του πλοίου Sea Diamond

4.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκε να γίνει μια πρακτική εφαρμογή του προγράμματος Oscar πάνω στο ναυτικό ατύχημα του πλοίου Sea Diamond. Τον Απρίλιο του 2007 το κρουαζιερόπλοιο Sea Diamond προσάραξε και βυθίστηκε έξω από το ελληνικό νησί Σαντορίνη. Στο **Σχήμα 54** βλέπουμε το κρουαζιερόπλοιο Sea Diamond λίγο πριν την βύθισή του. Από την στιγμή που εξαφανίστηκε από την επιφάνεια της θάλασσας, το πλοίο βυθίστηκε πολύ γρήγορα στον βαθύ βυθό. Το αποτέλεσμα ήταν μία σημαντική, στιγμιαία διαρροή αργού πετρελαίου καθώς το σκάφος είχε τις δεξαμενές πετρελαίου μερικώς φορτωμένες, οι οποίες κατέρρευσαν κάτω από την γρήγορη μεταβολή της πίεσης. Υπολογίζεται ότι το πλοίο είχε στις δεξαμενές του περίπου 516 MT αργού πετρελαίου. Το κρουαζιερόπλοιο καθώς βυθίστηκε ανατράπηκε και στην συνέχεια χτύπησε με δύναμη στον βυθό της θάλασσας και έμεινε σχεδόν σε όρθια θέση. Αυτό οδήγησε σε σημαντικές εσωτερικές και δομικές ζημιές του σκάφους. Πετρέλαιο εξαπλώθηκε σε όλα τα κατεστραμμένα καταστρώματα, καμπίνες και εσωτερικά συντρίμια. Περισσότερο από το ήμισυ των αποθεμάτων καυσίμου (περίπου 300 MT) παρατηρήθηκε ότι αναδύθηκαν από τον βυθό μέσα στις πρώτες μέρες και εβδομάδες. Περισυλλέχθηκαν από την επιφάνεια της θάλασσας και τις ακτές μέσα στους πρώτους 2-3 μήνες. Καθώς οι 3 μήνες ενεργούς απορρύπανσης ολοκληρώθηκαν στα μέσα του καλοκαιριού του 2007, η απελευθέρωση αργού πετρελαίου δεν είχε ωστόσο εξελιφτεί. Η αρχική ακαριαία απελευθέρωση πετρελαίου εξελίχθηκε σε μία μικρή και δυστυχώς διαρκής διαρροή.

Υπό το φως αυτής της κατάστασης, ένα εξελιγμένο σύστημα αγκύρωσης τέθηκε σε εφαρμογή και ένα περίβλημα από highseas booms έχει εγκατασταθεί πάνω από το ναυάγιο, σε σημείο όπου παρατηρήθηκε να αναδύεται πετρέλαιο (**Σχήμα 55**). Στην συνέχεια, το καλοκαίρι του 2009 στήθηκε μία επιχείρηση, με χρήση ενός σκάφους ROV-based, η οποία κατάφερε να αποστραγγίζει περίπου 150 MT αργού πετρελαίου από διάφορα σημεία του ναυαγίου. Τους επόμενους μήνες παρατηρήθηκε συνεχής ανάδυση αργού πετρελαίου από το ναυάγιο. Με βάση παρατηρήσεις που έγιναν τον Μάρτιο του 2010 ο καθημερινός ρυθμός απελευθέρωσης αργού πετρελαίου εκτιμάται ότι είναι 20-30 lt. Αυτό είναι σύμφωνο με τα αποτελέσματα συντήρησης του φράγματος και τις διαδικασίες καθαρισμού της πετρελαιοκηλίδας, με τις οποίες περισυλλέγονται καθημερινά 25-35 kg αποβλήτων πετρελαίου από την διάταξη του φράγματος. Τα εν λόγω απόβλητα περιλαμβάνουν υπολείμματα, απορροφητικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για να περισυλλεγεί το πετρέλαιο και νερό που απορροφάται και εγκλωβίζεται μέσα στο πετρέλαιο κατά τα πρώτα στάδια της γαλακτωματοποίησης. Κατά μέσο όρο αυτό θα υποδείκνυε ένα ρυθμό διαρροής του 1kg ανά μία ώρα περίπου.



Σχήμα 54. Το κρουαζιερόπλοιο Sea Diamond λίγες ώρες πριν τη βύθιση του.



Σχήμα 55. Φράγμα περισυλλογής πετρελαίου (διάμετρος: 150μ, περίμετρος: 450μ)
Μάρτιος 2010.

4.2 Σκοπός και δεδομένα του μοντέλου του Sea Diamond

Προκειμένου να δούμε τις πιθανές περιοχές που θα χτυπούσε το πετρέλαιο αν δεν υπήρχε η διάταξη του φράγματος, θα γίνει μία πιθανοθεωρητική προσέγγιση της κατάστασης. Τα σενάρια που θα τρέξουμε χωρίζονται σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες οι οποίες διαφοροποιούνται ανάλογα με τον ρυθμό διαρροής. Έχουμε σενάρια με ρυθμό διαρροής 20 lt/day, 30 lt/day, 5 tn/day και 100 tn ακαριαία. Στην συνέχεια από τον άτλαντα των καιρικών φαινομένων πήραμε τις μετρήσεις για την διεύθυνση και την ένταση του ανέμου που κατέγραψε ο μετεωρολογικός σταθμός, ο οποίος βρίσκεται στο σημείο 36.25°N , 25.46°E, στην περιοχή της Καλντέρας. Στον

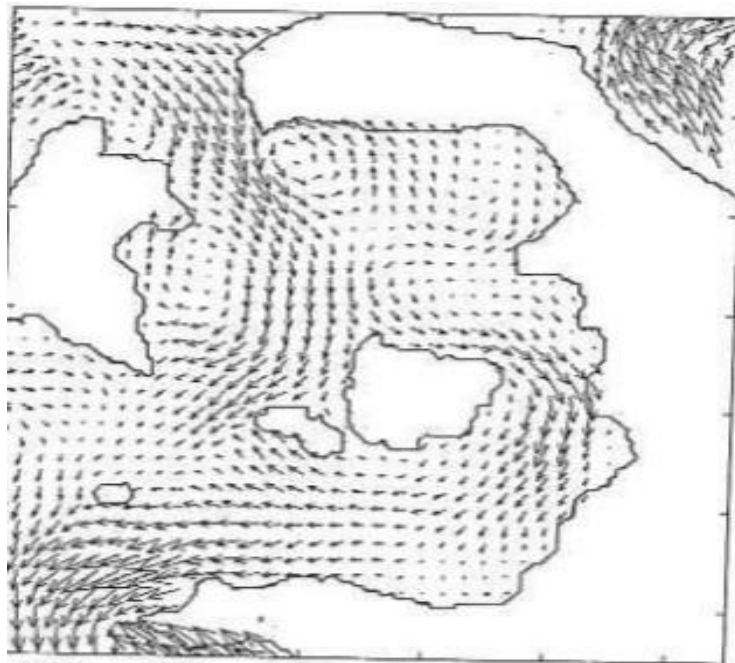
Πίνακα 1 φαίνονται τα ιστογράμματα της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου σε ετήσια βάση. Τα κελιά με πράσινο χρώμα έχουν συχνότητα εμφάνισης 0,3%-0,4%, τα κίτρινα κελιά 0,5%-1%, ενώ τα κόκκινα κελιά >1%. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας προκειμένου να καλύψουμε σχεδόν όλο το φάσμα των ανέμων έχουμε ομαδοποιήσει περιπτώσεις οι οποίες έχουν συχνότητα εμφάνισης $\leq 0.5\%$ και των οποίων η κατεύθυνση και η ένταση ανέμου διαφέρουν λίγο. Αυτό είναι δυνατόν να γίνει, χωρίς να αλλοιώσει ουσιαστικά τα αποτελέσματα, λόγω της ιδιομορφίας του ατυχήματος που μελετάμε (το σημείο διαρροής πετρελαίου βρίσκεται σε ένα κλειστό κόλπο και πολύ κοντά στην ακτή, περίπου 200 μέτρα). Σύμφωνα με αυτή την θεώρηση θα μελετήσουμε το **96.6%** όλων των πιθανών περιπτώσεων. Τα αποτελέσματα που θα βγάλουμε όμως θα έχουν υπολογιστεί αφού πρώτα έχουμε κανονικοποιήσει τις συχνότητες εμφάνισης των σεναρίων. Αναφέρονται δηλαδή στο 96,6% όλων των πιθανών περιπτώσεων. Τέλος δημιουργήθηκε ένα αρχείο που περιλαμβάνει το προφίλ των θαλασσιών ρευμάτων στην περιοχή της Σαντορίνης (**Σχήμα 56**). Παρατηρούμε ότι υπάρχει γενικά μία ανακυκλοφορία των ρευμάτων καθώς επίσης και ότι η έντασή τους είναι αρκετά μικρή.

Πίνακας 1. Ιστογράμματα ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου στην περιοχή της Σαντορίνης.

ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ-ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΑΝΕΜΟΥ (ΕΤΗΣΙΟ)																Total
LOCATION M5 (36.25°N, 25.46°E)																
Θ_{wind} (deg)	U_w (m/s)															
	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	11	13	15	17	18	
0	3	2	4	6	8	11	9	12	12	8	10	6	1	0	0	92
15	2	3	5	6	8	8	7	6	5	4	4	1	0	0	0	59
30	2	3	3	3	4	3	2	2	1	1	1	0	0	0	0	25
45	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	15
60	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	10
75	1	1	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	9
90	1	1	2	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	12
105	1	2	2	2	3	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	16
120	2	1	2	3	2	2	2	2	1	0	1	1	0	0	0	19
135	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0	0	0	23
150	1	2	2	3	2	3	2	2	2	1	2	1	0	0	0	23
165	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1	2	1	0	0	0	17
180	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	15
195	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	17
210	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0	18
225	2	3	2	2	2	1	2	2	2	1	1	0	0	0	0	20
240	3	4	4	5	4	3	3	3	2	2	3	1	1	0	0	38
255	3	4	7	8	8	6	7	6	5	4	7	2	0	0	0	67
270	3	7	9	13	13	12	7	5	4	3	3	1	1	0	0	81
285	3	5	11	15	15	15	8	3	2	1	1	1	0	0	0	80
300	3	5	7	11	13	13	10	4	2	1	1	0	0	0	0	70
315	2	4	6	9	12	13	15	11	5	2	2	0	0	0	0	81

330	2	4	5	8	9	11	14	11	7	5	6	1	0	0	0	83
345	2	3	4	5	9	10	11	12	11	12	12	4	1	0	0	96
Total	48	66	90	115	127	128	112	92	69	52	62	21	4	0	0	986

Έτσι λοιπόν κατασκευάσαμε 61 διαφορετικά σενάρια (Πίνακας 2), τα οποία έχουν όλα τα ίδια θαλάσσια ρεύματα, αλλά διαφορετικό άνεμο. Θα τρέξουμε λοιπόν τέσσερις φορές το κάθε ένα από αυτά τα σενάρια, για τους τέσσερις διαφορετικούς ρυθμούς διαρροής. Τα αποτελέσματα που θα πάρουμε σε συνδυασμό με την συχνότητα εμφάνισης του κάθε σεναρίου θα μας δώσουν το ρίσκο κάθε περιοχής που ενδέχεται να μολυνθεί με πετρέλαιο. Το προφίλ του πετρελαίου που θα χρησιμοποιηθεί στην προσομοίωση των σεναρίων είναι το HFO 380 το οποίο έχει τα εξής χαρακτηριστικά: s.g.= 0.965, API gravity = 15.1°API, pour point = 20°C. Η διάρκεια της προσομοίωσης των σεναρίων είναι 3 ημέρες.



Σχήμα 56. Προφίλ θαλασσιών ρευμάτων στην περιοχή της Σαντορίνης σε βάθος 10μ.

Πίνακας 2. Σενάρια καιρού για το μοντέλο του Sea Diamond.

Σενάριο i	Θwind (deg)	Uw (m/s)	Ni	Pi	Pi(%)	Κανονικοποιημένη Pi(%)
1	0	3.5	15	0.0152	1.52	1.57
2	0	4.5	8	0.0081	0.81	0.84
3	0	5.5	11	0.0112	1.12	1.15
4	0	6.5	9	0.0091	0.91	0.94
5	0	7.5	12	0.0122	1.22	1.26
6	0	8.5	12	0.0122	1.22	1.26
7	0	9.5	8	0.0081	0.81	0.84
8	0	11	10	0.0101	1.01	1.05
9	0	13	6	0.0061	0.61	0.63

10	15	2.5	10	0.0101	1.01	1.05
11	15	3.5	6	0.0061	0.61	0.63
12	15	4.5	8	0.0081	0.81	0.84
13	15	5.5	8	0.0081	0.81	0.84
14	15	6.5	7	0.0071	0.71	0.73
15	15	7.5	6	0.0061	0.61	0.63
16	15	8.5	5	0.0051	0.51	0.52
17	15	10	8	0.0081	0.81	0.84
18	30	1	5	0.0051	0.51	0.52
19	30	3	6	0.0061	0.61	0.63
20	30	5	7	0.0071	0.71	0.73
21	30	7	4	0.0041	0.41	0.42
22	45	1	3	0.0030	0.30	0.31
23	45	3	4	0.0041	0.41	0.42
24	45	5	3	0.0030	0.30	0.31
25	45	7	2	0.0020	0.20	0.21
26	45	9	2	0.0020	0.20	0.21
27	60	1	4	0.0041	0.41	0.42
28	60	3	2	0.0020	0.20	0.21
29	60	5	2	0.0020	0.20	0.21
30	60	7	2	0.0020	0.20	0.21
31	90	1	7	0.0071	0.71	0.73
32	90	3	11	0.0112	1.12	1.15
33	90	5	11	0.0112	1.12	1.15
34	90	7	7	0.0071	0.71	0.73
35	142	1	13	0.0132	1.32	1.36
36	142	3	18	0.0183	1.83	1.88
37	142	5	16	0.0162	1.62	1.67
38	142	7	14	0.0142	1.42	1.46
39	142	9	10	0.0101	1.01	1.05
40	203	1	15	0.0152	1.52	1.57
41	203	3	16	0.0162	1.62	1.67
42	203	5	15	0.0152	1.52	1.57
43	203	7	11	0.0112	1.12	1.15
44	203	9	9	0.0091	0.91	0.94
45	255	1	24	0.0243	2.43	2.51
46	255	3	46	0.0467	4.67	4.81
47	255	5	46	0.0467	4.67	4.81
48	255	7	31	0.0314	3.14	3.24
49	255	9	20	0.0203	2.03	2.09
50	255	12	17	0.0172	1.72	1.78
51	300	1	22	0.0223	2.23	2.30
52	300	3	59	0.0598	5.98	6.17
53	300	5	81	0.0822	8.22	8.47
54	300	7	51	0.0517	5.17	5.33
55	300	9	13	0.0132	1.32	1.36

56	338	1	11	0.0112	1.12	1.15
57	338	3	22	0.0223	2.23	2.30
58	338	5	39	0.0396	3.96	4.08
59	338	7	48	0.0487	4.87	5.02
60	338	9	35	0.0355	3.55	3.66
61	338	12	23	0.0233	2.33	2.41

4.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων για το μοντέλο του Sea Diamond

4.3.1 Ρυθμός διαρροής πετρελαίου 20 lt/day

Η πρώτη ομάδα σεναρίων αναφέρεται στα σενάρια στα οποία ο ρυθμός διαρροής του πετρελαίου είναι ίσος με 20 lt/day. Η διάρκεια της διαρροής είναι 3 μέρες. Ο ρυθμός αυτός επιλέχθηκε σύμφωνα με παρατηρήσεις που έχουν γίνει στην περιοχή, σχετικά με την ποσότητα του πετρελαίου που συγκεντρωνόταν καθημερινά στην διάταξη του φράγματος που έχει εγκατασταθεί πάνω από το σημείο βύθισης του πλοίου. Το βάθος της διαρροής είναι 120 μέτρα ενώ η διάρκεια της προσομοίωσης είναι 3 μέρες. Στον **Πίνακα 3** παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα όλων των σεναρίων. Εμφανίζονται οι περιοχές που πλήττονται ανά σενάριο, η ποσότητα του πετρελαίου που καταλήγει στην ακτή, η συχνότητα εμφάνισης του κάθε σεναρίου καθώς και η αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου στην ακτή ανά σενάριο.

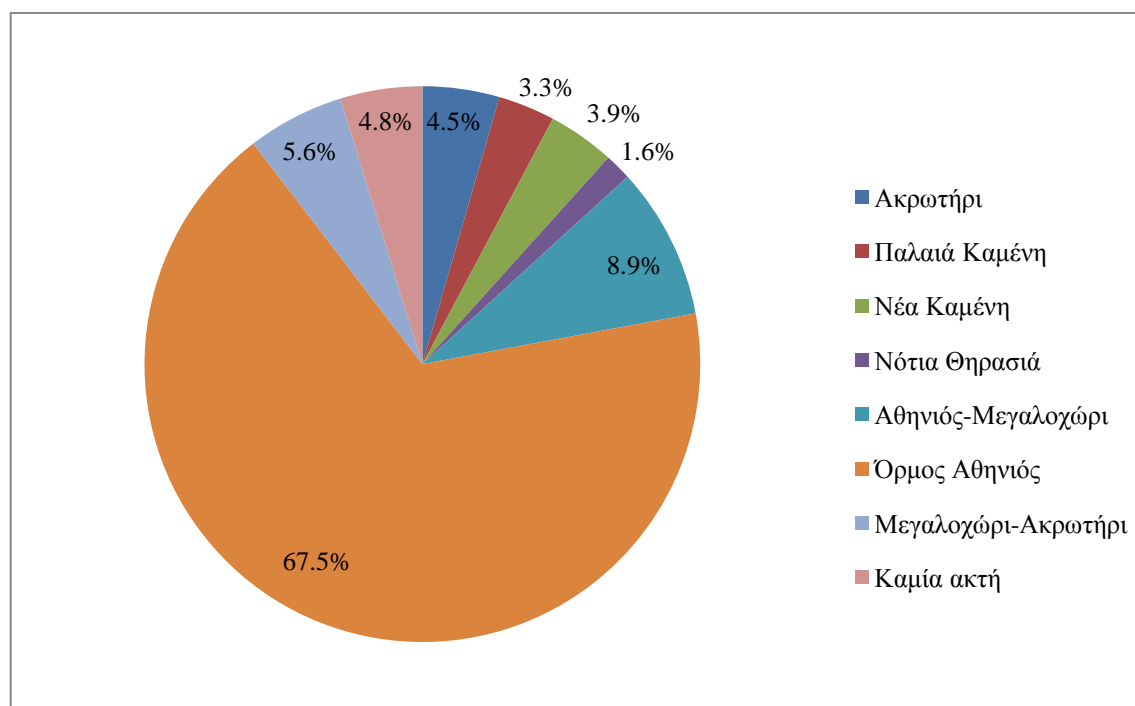
Πίνακας 3. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σεναρίων 20 lt/day.

Σενάρια	Περιοχές	ποσότητα (kg)	συχνότητα	αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου στην ακτή (kg)
1	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	53.34	0.0157	0.8369
2	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	53.34	0.0084	0.4463
3	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	53.76	0.0115	0.6186
4	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	53.76	0.0094	0.5061
5	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	53.76	0.0126	0.6748
6	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	53.34	0.0126	0.6695
7	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	53.34	0.0084	0.4463
8	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	52.92	0.0105	0.5535
9	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	41.16	0.0063	0.2583
10	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήριο	48.3	0.0105	0.5052
11	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήριο	49.56	0.0063	0.3110
12	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήριο	50.82	0.0084	0.4253
13	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήριο	51.24	0.0084	0.4288
14	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήριο	51.66	0.0073	0.3783
15	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήριο	51.66	0.0063	0.3242
16	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήριο	49.98	0.0052	0.2614
17	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήριο	54	0.0084	0.4519

18	Ακρωτήρι	45.31	0.0052	0.2370
19	Ακρωτήρι	48.78	0.0063	0.3061
20	Ακρωτήρι	47.15	0.0073	0.3452
21	Ακρωτήρι	35.04	0.0042	0.1466
22	Ακρωτήρι	44.49	0.0031	0.1396
23	Ακρωτήρι	48.62	0.0042	0.2034
24	Ακρωτήρι	49.95	0.0031	0.1567
25	Ακρωτήρι	39.42	0.0021	0.0825
26	Ακρωτήρι	12.88	0.0021	0.0269
27	Ακρωτήρι	43.42	0.0042	0.1817
28	Ακρωτήρι	47.48	0.0021	0.0993
29	Ακρωτήρι	49.15	0.0021	0.1028
30	Ακρωτήρι	50.2	0.0021	0.1050
31	Καμία ακτή	0	0.0073	0.0000
32	Καμία ακτή	0	0.0115	0.0000
33	Καμία ακτή	0	0.0115	0.0000
34	Καμία ακτή	0	0.0073	0.0000
35	Καμία ακτή	0	0.0136	0.0000
36	Π.Καμένη	44.52	0.0188	0.8382
37	Όρμος Αθηνιός	0.42	0.0167	0.0070
	Π.Καμένη	1.68	0.0167	0.0281
	Ν.Καμένη	43.68	0.0167	0.7295
	Ν.Θηρασιά	1.68	0.0167	0.0281
38	Όρμος Αθηνιός	4.62	0.0146	0.0675
	Ν.Καμένη	42	0.0146	0.6132
39	Όρμος Αθηνιός	8.82	0.0105	0.0926
	Ν.Καμένη	20.58	0.0105	0.2161
40	Όρμος Αθηνιός	46.62	0.0157	0.7315
41	Όρμος Αθηνιός	52.92	0.0167	0.8857
42	Όρμος Αθηνιός	53.76	0.0157	0.8435
43	Όρμος Αθηνιός	54.18	0.0115	0.6234
44	Όρμος Αθηνιός	54.18	0.0094	0.5100
45	Όρμος Αθηνιός	53.34	0.0251	1.3390
46	Όρμος Αθηνιός	54.18	0.0481	2.6069
47	Όρμος Αθηνιός	37.8	0.0481	1.8188
48	Όρμος Αθηνιός	49.14	0.0324	1.5934
49	Όρμος Αθηνιός	45.36	0.0209	0.9489
50	Όρμος Αθηνιός	3.78	0.0178	0.0672
51	Όρμος Αθηνιός	53.76	0.0230	1.2371
52	Όρμος Αθηνιός	54.18	0.0617	3.3437
53	Όρμος Αθηνιός	53.34	0.0847	4.5193
54	Όρμος Αθηνιός	36.54	0.0533	1.9493
55	Όρμος Αθηνιός	40.32	0.0136	0.5483
56	Όρμος Αθηνιός	52.5	0.0115	0.6041
57	Όρμος Αθηνιός	53.76	0.0230	1.2371
58	Όρμος Αθηνιός	54.18	0.0408	2.2102

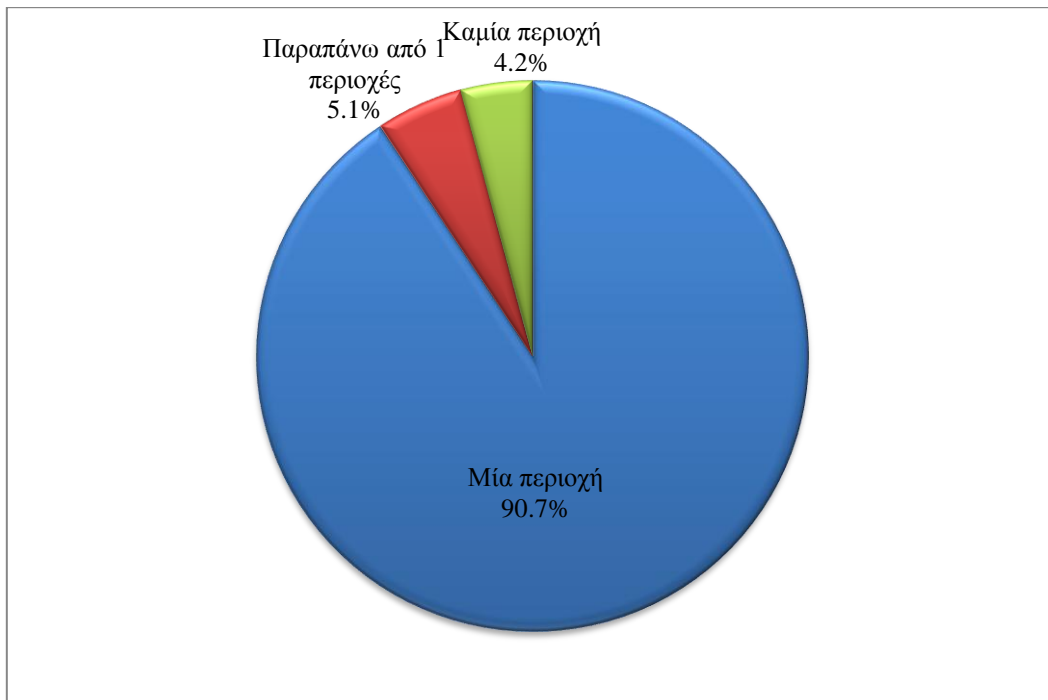
59	Όρμος Αθηνιός	54.18	0.0502	2.7203
60	Όρμος Αθηνιός	52.5	0.0366	1.9220
61	Όρμος Αθηνιός	44.1	0.0241	1.0610

Στο **Σχήμα 57** που ακολουθεί βλέπουμε τις περιοχές που πλήττονται από το πετρέλαιο καθώς επίσης και την συχνότητα να καταλήξει πετρέλαιο στις ακτές των περιοχών αυτών. Παρατηρούμε ότι στον Όρμο Αθηνιό έχουμε την μεγαλύτερη συχνότητα να καταλήξει το πετρέλαιο, η οποία αγγίζει το 67,5%. Αυτό είναι πολύ λογικό καθώς το σημείο της διαρροής βρίσκεται σε απόσταση μόλις 200 μέτρων από τον όρμο. Η αμέσως επόμενη πιο πιθανή περιοχή κατάληξης του πετρελαίου, με συχνότητα 8,9%, είναι οι ακτές μεταξύ του Μεγαλοχωρίου και του Ακρωτηρίου, οι οποίες βρίσκονται στο νότιο τμήμα του νησιού. Επίσης παρατηρούμε ότι υπάρχει και η συχνότητα της τάξης του 4,8% να μην «χτυπηθεί» με πετρέλαιο καμία ακτή. Σε αυτή την περίπτωση λόγω των ρευμάτων και των καιρικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή καταλήγει έξω από τον κλειστό κόλπο της Καλντέρας.



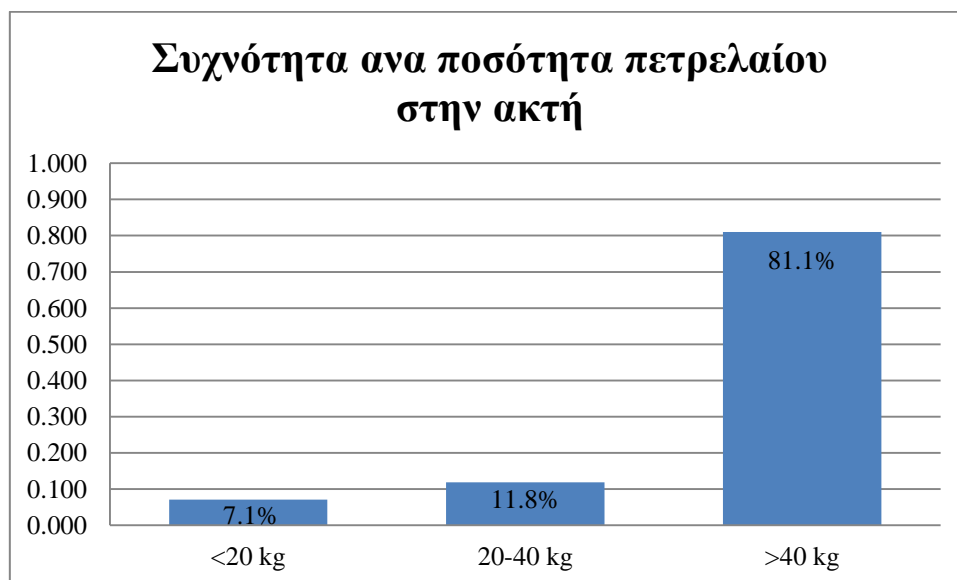
Σχήμα 57. Κατανομή συχνότητας κατάληξης πετρελαίου ανά περιοχή (διαρροή 20 lt/day.)

Στο **Σχήμα 58** παρουσιάζεται η κατανομή της συχνότητας να «χτυπηθούν» ταυτόχρονα παραπάνω από μία περιοχές. Παρατηρούμε ότι η συχνότητα αυτή είναι μικρή, γεγονός αρκετά θετικό, αφού σε αντίθετη περίπτωση θα ήταν πολύ πιο χρονοβόρο και πιο δαπανηρό να περισυλλέξουμε το πετρέλαιο από τις ακτές.



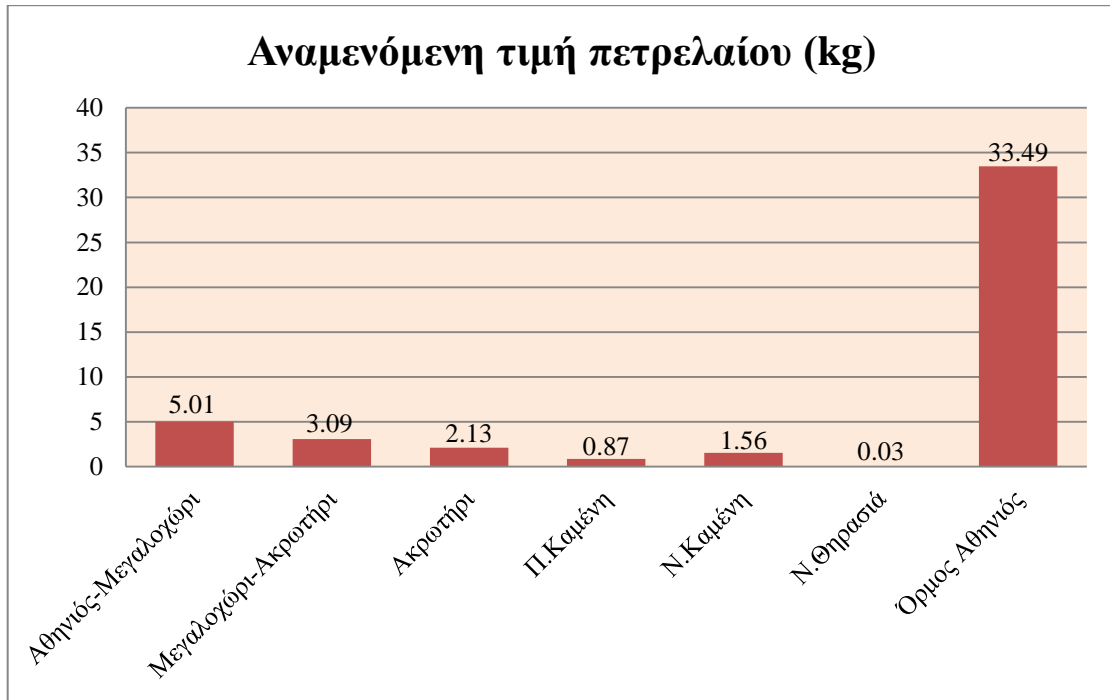
Σχήμα 58. Συχνότητα κατάληξης του πετρελαίου σε παραπάνω από μία περιοχές.

Στην συνέχεια, στο **Σχήμα 59**, εμφανίζονται οι συχνότητες των διαφόρων ποσοτήτων πετρελαίου που καταλήγουν στην ακτή. Βλέπουμε ότι με συχνότητα 81,1% θα καταλήξουν στην ακτή περισσότερα από 40 kg πετρελαίου σε διάστημα 3 ημερών. Αυτό σημαίνει ότι στην πλειονότητα των περιπτώσεων το μεγαλύτερο μέρος του πετρελαίου που βγαίνει στην επιφάνεια της θάλασσας καταλήγει στην ακτή.



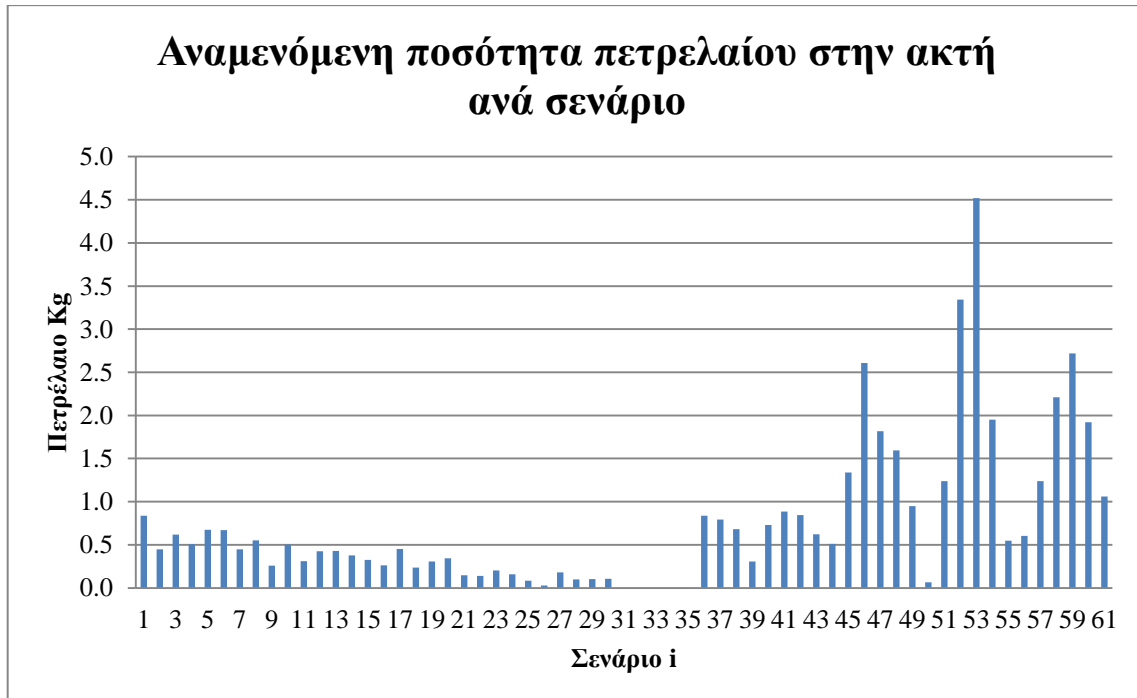
Σχήμα 59. Συχνότητες διαφόρων ποσοτήτων πετρελαίου στην ακτή.

Στο επόμενο γράφημα που ακολουθεί, **Σχήμα 60**, παρουσιάζεται η αναμενόμενη τιμή του πετρελαίου που θα καταλήξει στην κάθε περιοχή. Από το γράφημα αναμένουμε την μεγαλύτερη ποσότητα στον Όρμο Αθηνιώ, περίπου 33,5 kg, ενώ σε όλες τις άλλες περιοχές η αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου δεν ξεπερνά τα 5 kg.



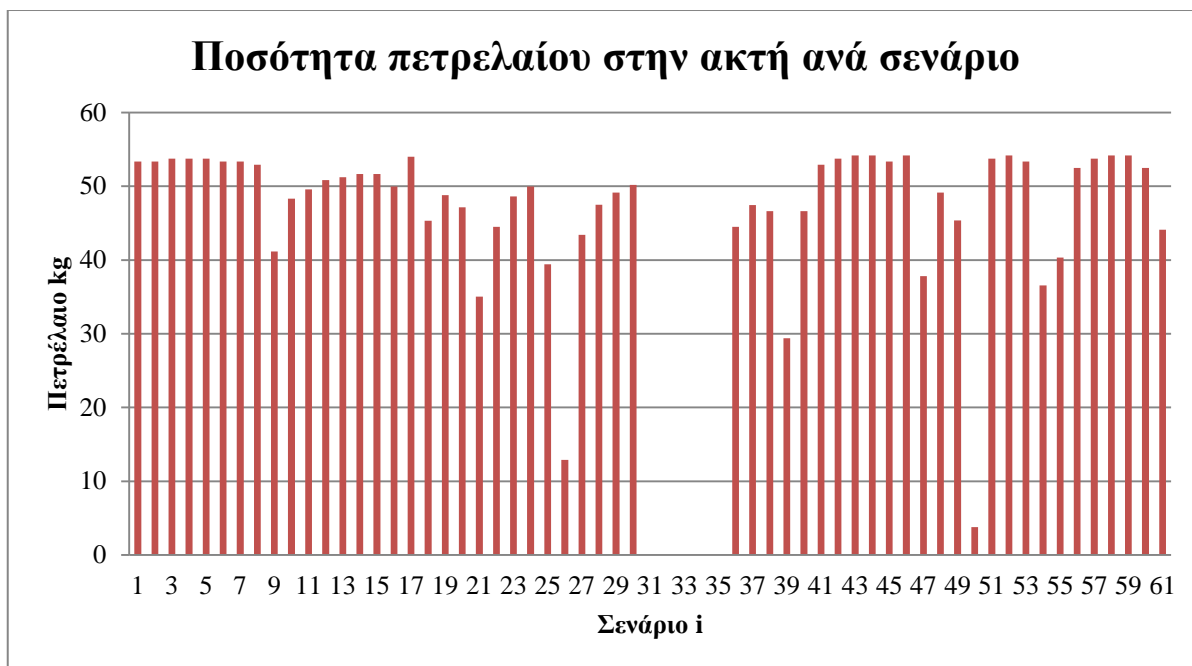
Σχήμα 60. Αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου ανά περιοχή.

Στο **Σχήμα 61** δίνεται το γράφημα που εμφανίζει την αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου στην ακτή ανά σενάριο. Παρατηρούμε ότι υπάρχουν μερικά σενάρια που έχουν πολύ μεγαλύτερο ρίσκο και ξεχωρίζουν σε σχέση με τα υπόλοιπα.



Σχήμα 61. Αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου στην ακτή ανά σενάριο.

Τέλος στο **Σχήμα 62** βλέπουμε το γράφημα της πραγματικής ποσότητας πετρελαίου που καταλήγει στην ακτή ανά σενάριο. Όπως είδαμε και στο **Σχήμα 59**, στην πλειονότητα των περιπτώσεων καταλήγουν στην ακτή περισσότερα από 40 kg πετρελαίου.

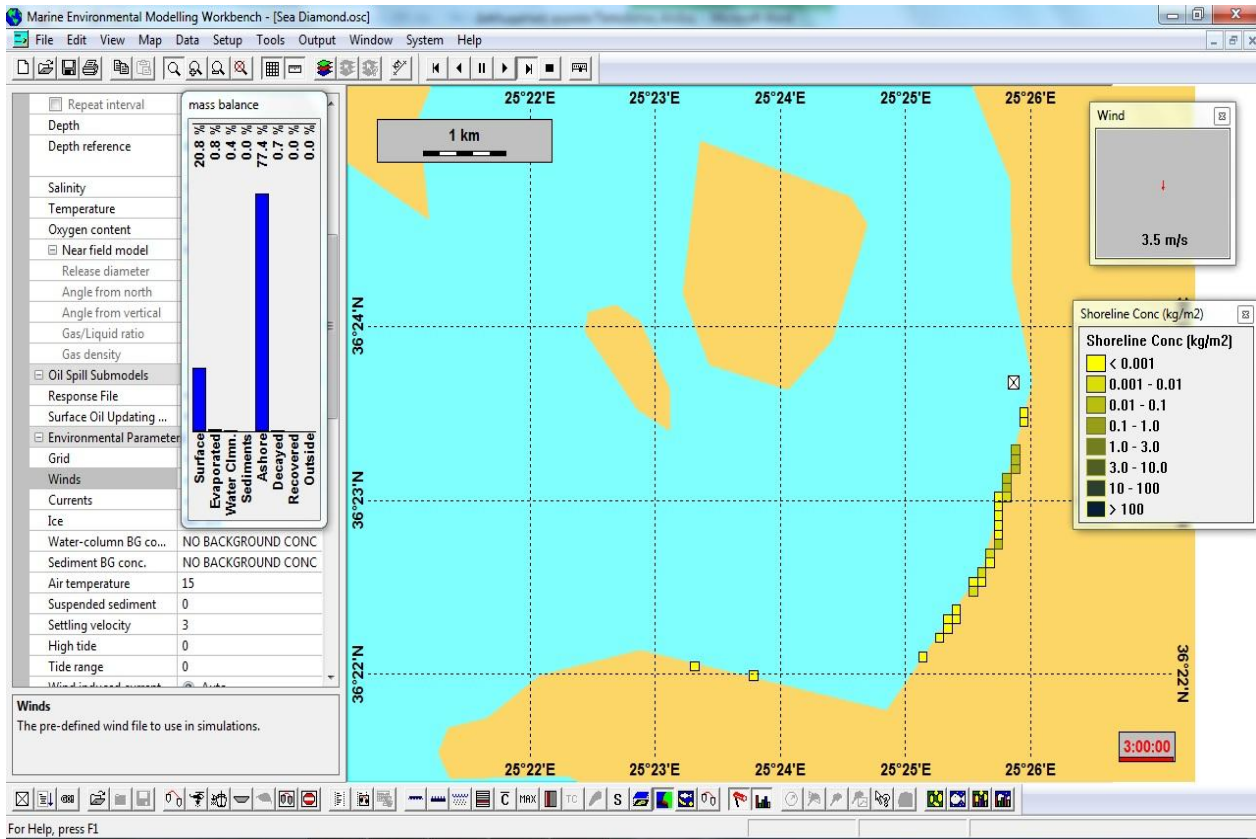


Σχήμα 62. Ποσότητα πετρελαίου που καταλήγει στην ακτή ανά σενάριο.

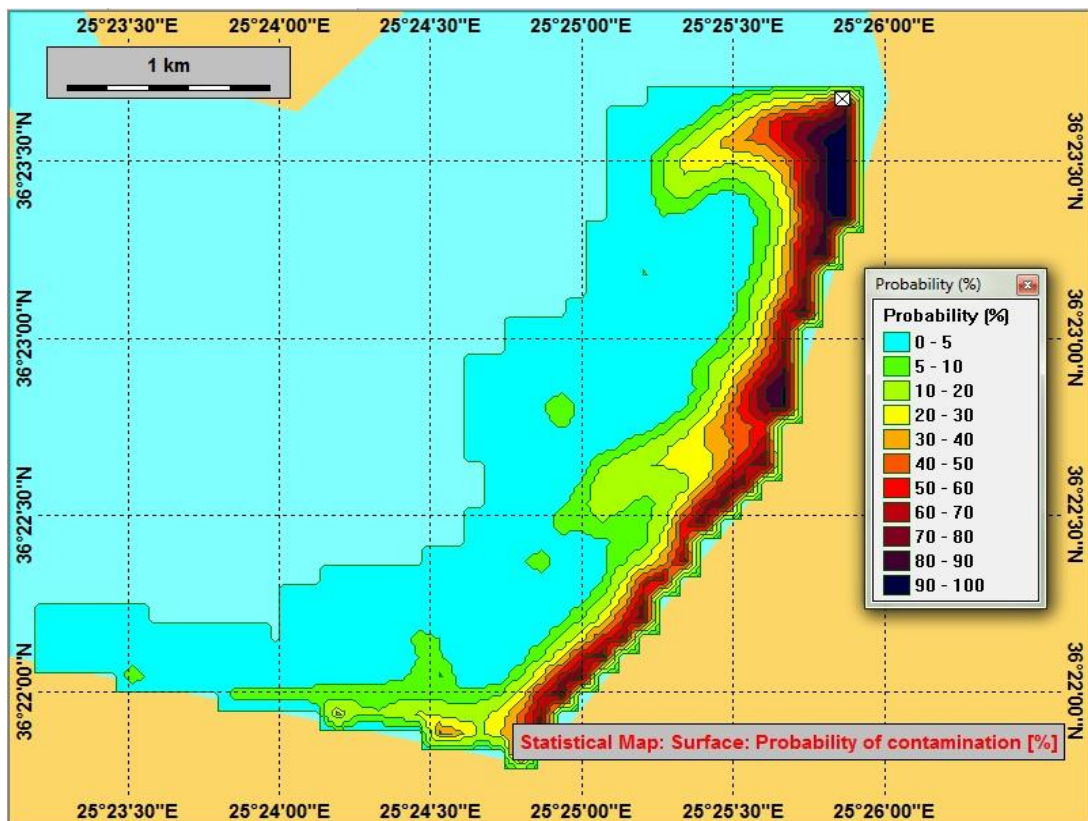
Στην συνέχεια, από το σύνολο των σεναρίων, επιλέξαμε τρία στα οποία μεγάλη ποσότητα πετρελαίου καταλήγει σε διαφορετικές περιοχές. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτών των σεναρίων.

Σενάριο 1:

Στο σενάριο 1 η διεύθυνση του ανέμου είναι 0° ενώ η ταχύτητα του 3,5 m/s. Παρατηρούμε ότι 53,34 kg πετρελαίου καταλήγουν στις ακτές της περιοχής που βρίσκεται μεταξύ του Όρμου Αθηνιού και του Μεγαλοχωρίου. Στο **Σχήμα 63** βλέπουμε μία απεικόνιση της συγκέντρωσης του πετρελαίου που καταλήγει στην ακτή. Βλέπουμε επίσης και την κατανομή του συνολικού όγκου του πετρελαίου που ελευθερώνεται στην θάλασσα. Το μεγαλύτερο ποσοστό, 77,4%, καταλήγει στην ακτή ενώ ένα 20,8% παραμένει στην επιφάνεια της θάλασσας μετά από τρεις μέρες. Άξιο παρατήρησης είναι το γεγονός ότι μόνο το 0,8% της ποσότητας πετρελαίου που διαρρέει εξατμίζεται. Αυτό συμβαίνει για δύο βασικούς λόγους: πρώτον λόγω του προφίλ του πετρελαίου που χρησιμοποιήσαμε στην προσομοίωση των σεναρίων. Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως το πετρέλαιο είναι το HFO 380 το οποίο έχει τα εξής χαρακτηριστικά: s.g.= 0.965, API gravity = 15.1°API, pour point = 20°C. Σε όλα τα σενάρια που τρέξαμε η θερμοκρασία της θάλασσας λήφθηκε ίση με 15°C. Αυτό σημαίνει ότι το HFO 380 σε αυτή την θερμοκρασία έχει αρχίσει να στερεοποιείται και με δυσκολία εξατμίζεται. Ο δεύτερος βασικός λόγος είναι το γεγονός ότι το σημείο του ατυχήματος είναι πολύ κοντά στην ακτή, με αποτέλεσμα το πετρέλαιο που ελευθερώνεται να καταλήγει πολύ γρήγορα στην ακτή, να μην παραμένει για αρκετό διάστημα στην επιφάνεια της θάλασσας και έτσι να μην υφίσταται σε μεγάλο ποσοστό η διαδικασία της εξατμίσεως.

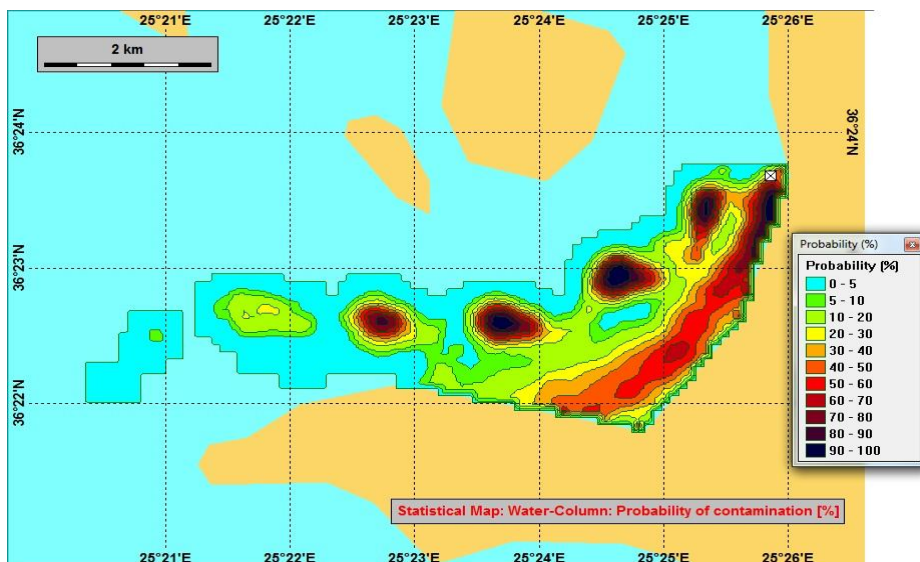


Σχήμα 63. Σενάριο 1-Απεικόνιση συγκέντρωσης πετρελαίου στην ακτή.



Σχήμα 64. Σενάριο1-Πιθανή κατεύθυνση του επιφανειακού πετρελαίου.

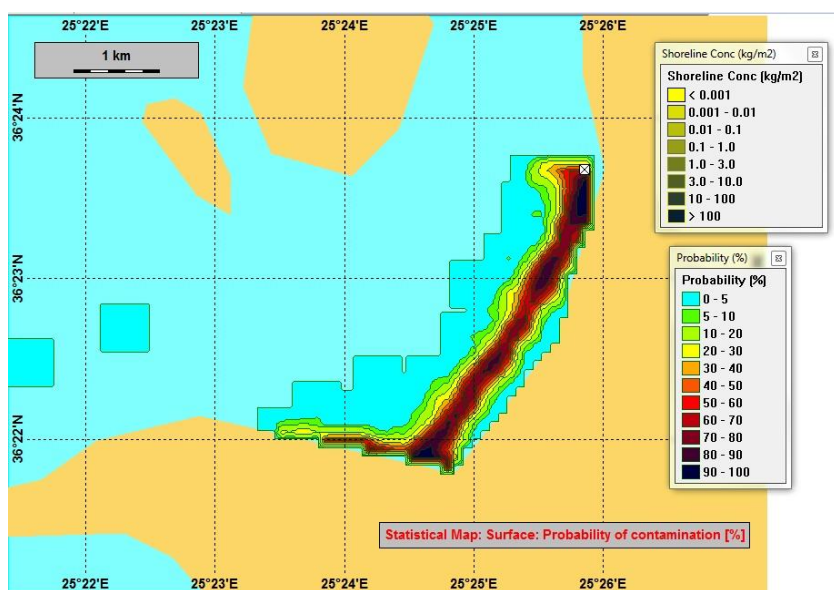
Στο **Σχήμα 64** βλέπουμε ποια είναι η πιο πιθανή κατεύθυνση του πετρελαίου που ελευθερώνεται στην θάλασσα. Η προσέγγιση αυτή έγινε μετά από 10 τρεξίματα του σεναρίου 1 και μας δείχνει ότι στο συγκεκριμένο σενάριο το επιφανειακό πετρέλαιο κατευθύνεται κατά μήκος των ακτών και πολύ κοντά σε αυτές. Τέλος στο **Σχήμα 65** βλέπουμε την κατεύθυνση του πετρελαίου, το οποίο βρίσκεται στην θάλασσα στήλη του νερού. Η κατεύθυνσή του διαφοροποιείται λίγο από αυτή του επιφανειακού πετρελαίου διότι επηρεάζεται περισσότερο από το προφίλ των θαλασσίων ρευμάτων και λιγότερο από την διεύθυνση και την ένταση του ανέμου.



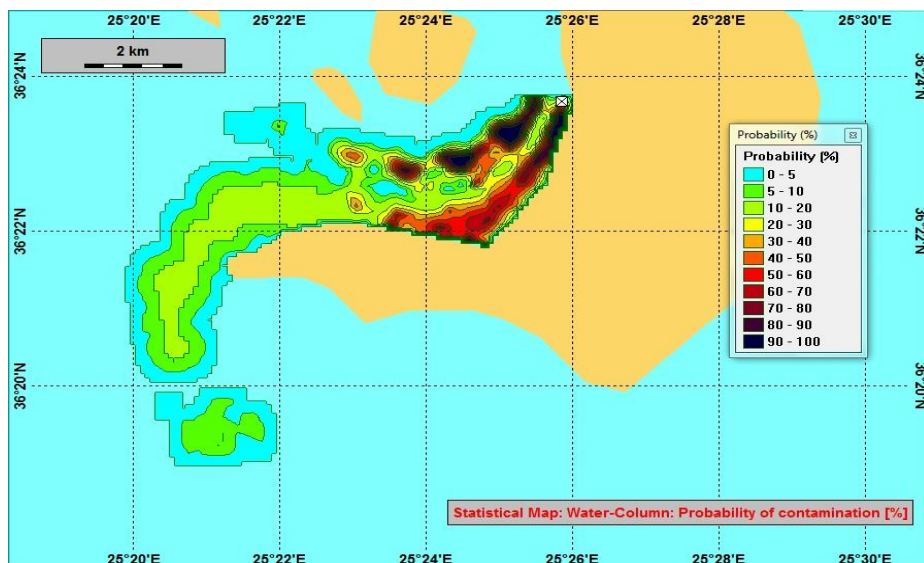
Σχήμα 65. Σενάριο 1-Κατεύθυνση του πετρελαίου στη θάλασσα στήλη του νερού.

Σενάριο 19:

Στο σενάριο 19 ο άνεμος έχει κατεύθυνση 30° και ταχύτητα 3 m/s με αποτέλεσμα 48,78 kg πετρελαίου να καταλήγουν στην περιοχή του Ακρωτηρίου. Στο **Σχήμα 66** βλέπουμε την πιθανή κατεύθυνση του πετρελαίου ενώ στο **Σχήμα 67** παρουσιάζεται η κατεύθυνση του πετρελαίου που βρίσκεται στην θάλασσα στήλη νερού.



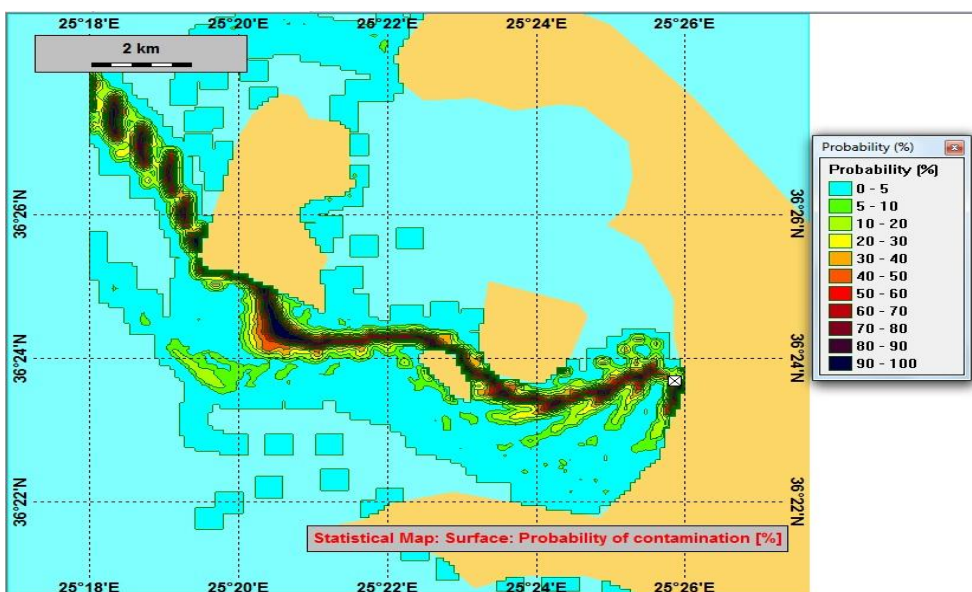
Σχήμα 66. Σενάριο 19-Πιθανή κατεύθυνση επιφανειακού πετρελαίου.



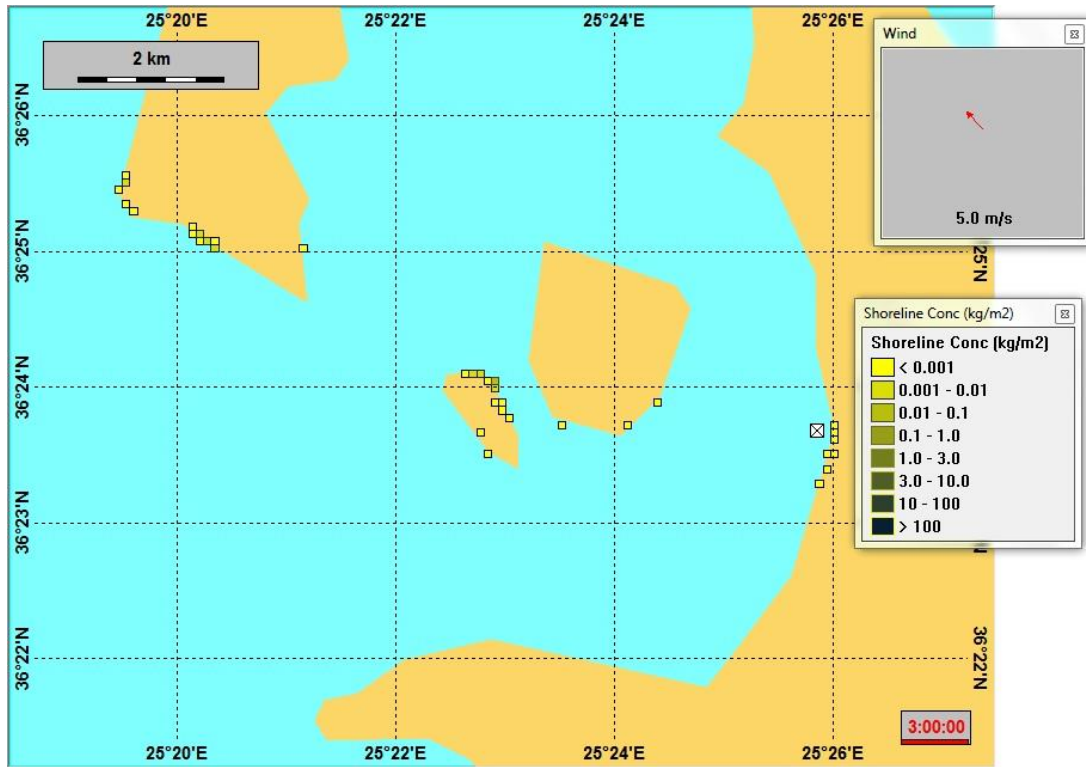
Σχήμα 67. Σενάριο 19-Κατεύθυνση του πετρελαίου στη θαλάσσια στήλη νερού.

Σενάριο 37:

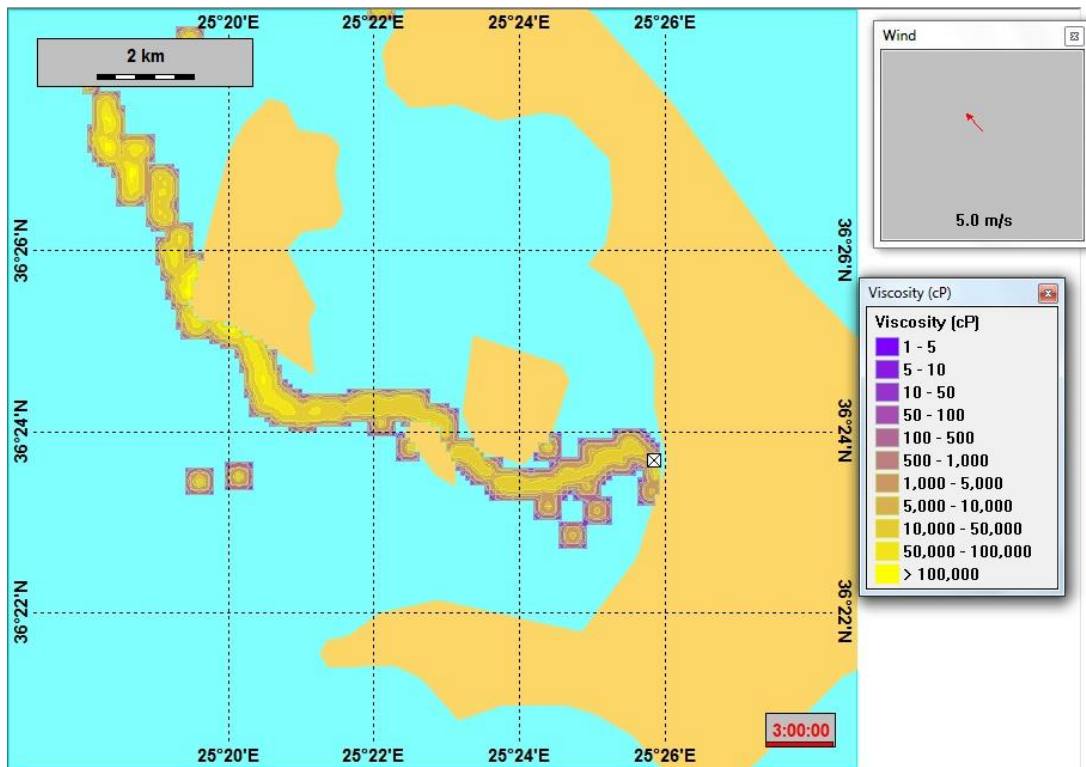
Στο σενάριο 37 ο άνεμος έχει κατεύθυνση 142° και ταχύτητα 5 m/s. Οι περιοχές που πλήττονται από το πετρέλαιο είναι η Παλαιά και η Νέα Καμένη, η Νότια Θηρασιά και ο Όρμος Αθηνιός. Η συνολική ποσότητα του πετρελαίου που καταλήγει στις ακτές είναι 47,46 kg. Στο **Σχήμα 68** απεικονίζεται η πιθανή πορεία του πετρελαίου πριν καταλήξει στις ακτές. Παρατηρούμε ότι όλο το πετρέλαιο κατευθύνεται βορειοδυτικά ακολουθώντας την διεύθυνση του ανέμου και δεν επηρεάζεται τόσο από τα θαλάσσια ρεύματα. Στο **Σχήμα 69** βλέπουμε τις περιοχές που πλήττονται από το πετρέλαιο, ενώ στο **Σχήμα 70** το ιζώδες του επιφανειακού πετρελαίου. Το ιζώδες του πετρελαίου είναι πολύ μεγάλο, γεγονός που οφείλεται στο γαλάκτωμα που έχει δημιουργηθεί. Τέλος στο **Σχήμα 71** απεικονίζεται η πορεία του πετρελαίου το οποίο βρίσκεται στην θαλάσσια στήλη νερού.



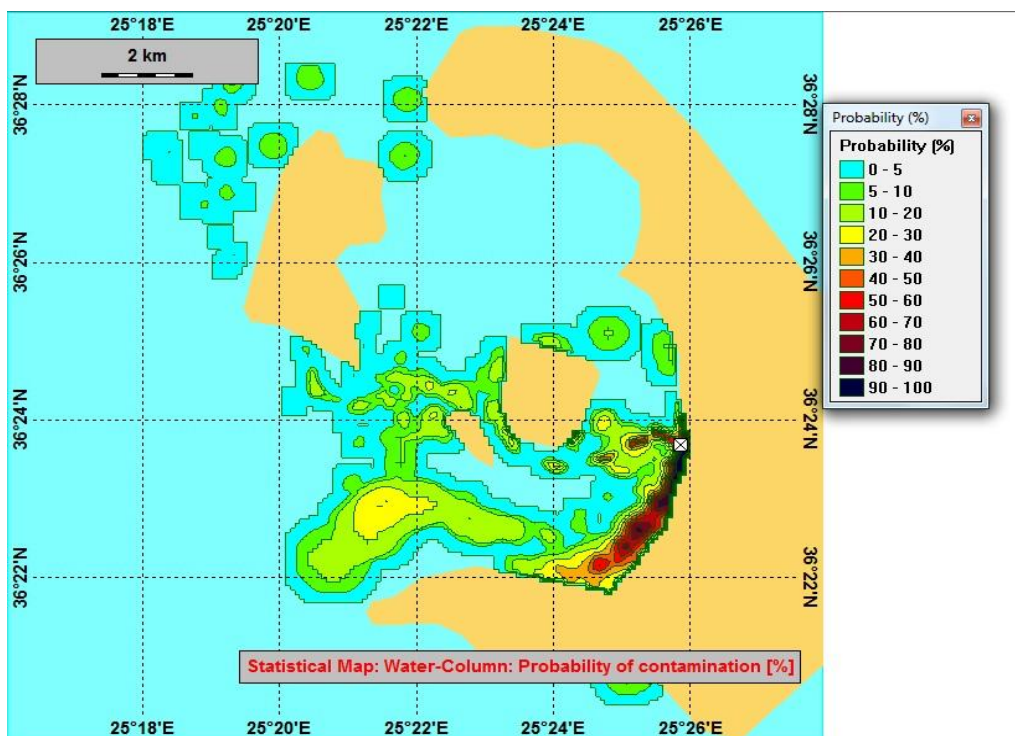
Σχήμα 68. Σενάριο 37-Πιθανή πορεία επιφανειακού πετρελαίου.



Σχήμα 69. Σενάριο 37-Περιοχές που πλήττονται από το πετρέλαιο.



Σχήμα 70. Σενάριο 37-Ιξώδες επιφανειακού πετρελαίου.



Σχήμα 71. Σενάριο 37-Κατεύθυνση του πετρελαίου στη θαλάσσια στήλη νερού.

4.3.2. Ρυθμός διαρροής πετρελαίου 30 lt/day

Ο ρυθμός αυτός επιλέχθηκε όπως και ο ρυθμός των 20 lt/day, σύμφωνα πάντα με παρατηρήσεις που έχουν γίνει στην περιοχή, σχετικά με την ποσότητα του πετρελαίου που συγκεντρωνόταν καθημερινά στην διάταξη του φράγματος που έχει εγκατασταθεί πάνω από το σημείο βύθισης του πλοίου. Το βάθος της διαρροής είναι 120 μέτρα, η διάρκεια της 3 μέρες ενώ η διάρκεια της προσομοίωσης είναι και αυτή 3 μέρες. Στον **Πίνακα 4** παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα όλων των σεναρίων. Εμφανίζονται οι περιοχές που πλήττονται ανά σενάριο, η ποσότητα του πετρελαίου που καταλήγει στην ακτή, η συχνότητα εμφάνισης του κάθε σεναρίου καθώς και η αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου στην ακτή ανά σενάριο.

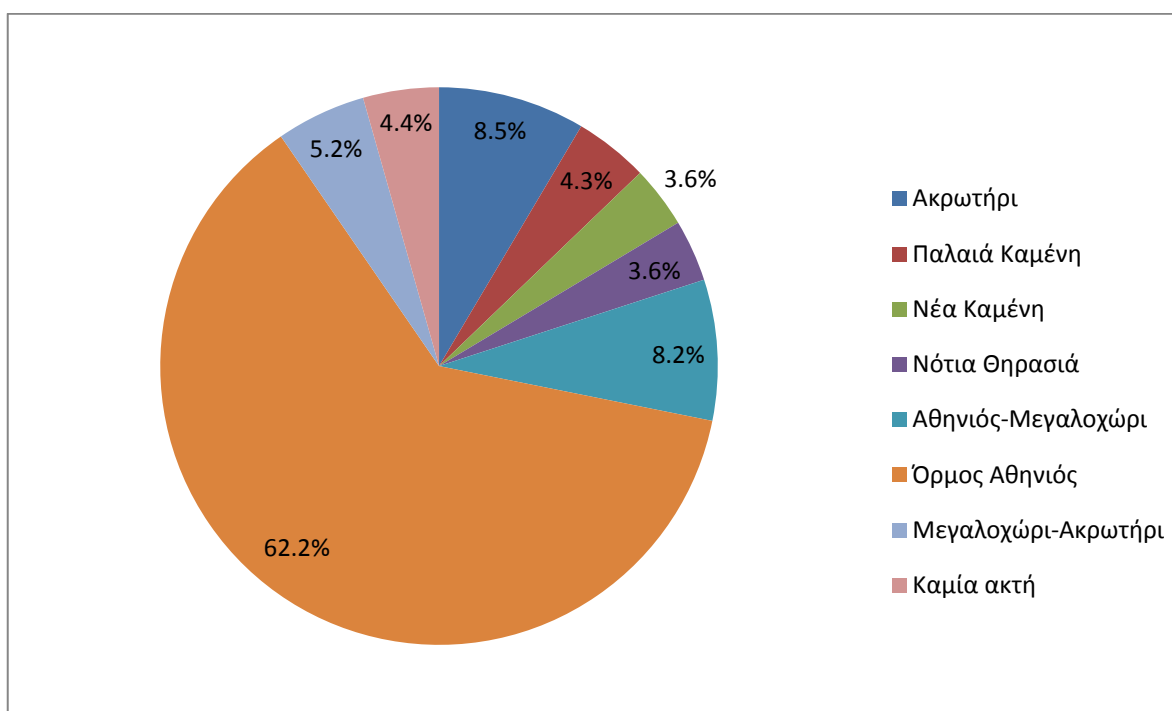
Πίνακας 4. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σεναρίων 30 lt/day.

Σενάρια	Περιοχές	ποσότητα (kg)	συχνότητα	αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου στην ακτή (kg)
1	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	79.38	0.0157	1.2455
2	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	79.8	0.0084	0.6678
3	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	80.22	0.0115	0.9230
4	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	79.8	0.0094	0.7512
5	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	79.8	0.0126	1.0016
6	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	79.8	0.0126	1.0016
7	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	80.22	0.0084	0.6713
8	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	78.96	0.0105	0.8259

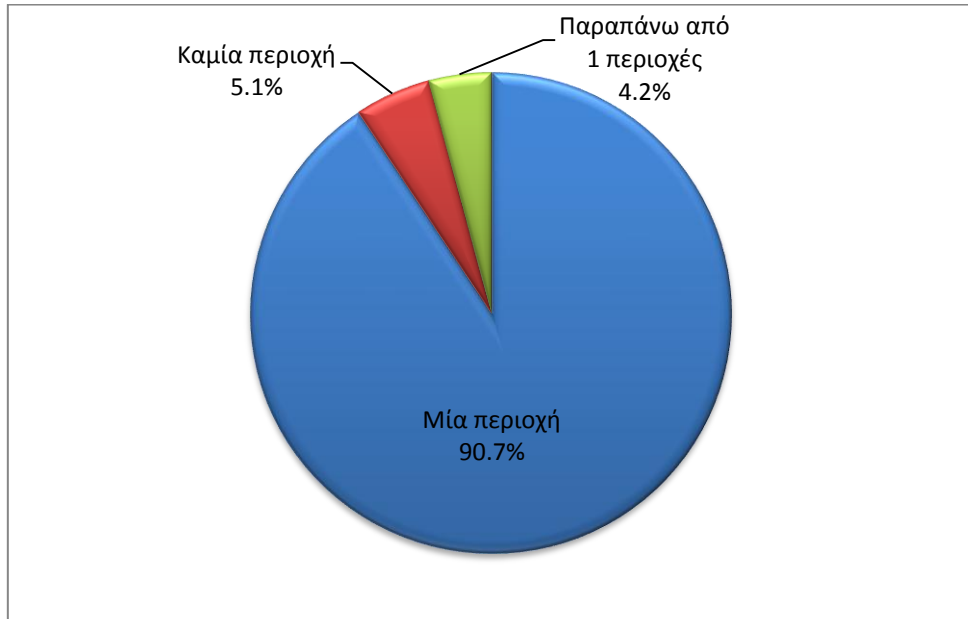
9	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	61.74	0.0063	0.3875
10	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήρι	72.66	0.0105	0.7600
11	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήρι	74.76	0.0063	0.4692
12	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήρι	76.02	0.0084	0.6361
13	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήρι	76.86	0.0084	0.6432
14	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήρι	77.7	0.0073	0.5689
15	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήρι	78.12	0.0063	0.4903
16	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήρι	75.18	0.0052	0.3932
17	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήρι	73.44	0.0084	0.6145
18	Ακρωτήρι	67.61	0.0052	0.3536
19	Ακρωτήρι	72.96	0.0063	0.4579
20	Ακρωτήρι	71.37	0.0073	0.5226
21	Ακρωτήρι	52.73	0.0042	0.2206
22	Ακρωτήρι	66.9	0.0031	0.2099
23	Ακρωτήρι	72.92	0.0042	0.3051
24	Ακρωτήρι	74.68	0.0031	0.2343
25	Ακρωτήρι	60.38	0.0021	0.1263
26	Ακρωτήρι	19.74	0.0021	0.0413
27	Ακρωτήρι	64.98	0.0042	0.2719
28	Ακρωτήρι	71.5	0.0021	0.1496
29	Ακρωτήρι	73.76	0.0021	0.1543
30	Ακρωτήρι	74.93	0.0021	0.1568
31	Καμία ακτή	0	0.0073	0.0000
32	Καμία ακτή	0	0.0115	0.0000
33	Καμία ακτή	0	0.0115	0.0000
34	Καμία ακτή	0	0.0073	0.0000
35	Καμία ακτή	0	0.0136	0.0000
36	Π.Καμένη	66.78	0.0188	1.2573
37	Όρμος Αθηνιός	0.63	0.0167	0.0105
	Π.Καμένη	2.35	0.0167	0.0392
	Ν.Καμένη	65.52	0.0167	1.0942
	Ν.Θηρασιά	2.31	0.0167	0.0386
38	Όρμος Αθηνιός	6.72	0.0146	0.0981
	Π.Καμένη	0.311	0.0146	0.0045
	Ν.Καμένη	63	0.0146	0.9198
	Ν.Θηρασιά	0.315	0.0146	0.0046
39	Όρμος Αθηνιός	13.44	0.0105	0.1411
	Ν.Καμένη	32.34	0.0105	0.3396
	Ν.Θηρασιά	0.672	0.0105	0.0071
40	Όρμος Αθηνιός	69.3	0.0157	1.0873
41	Όρμος Αθηνιός	79.38	0.0167	1.3285
42	Όρμος Αθηνιός	80.64	0.0157	1.2652
43	Όρμος Αθηνιός	80.64	0.0115	0.9278
44	Όρμος Αθηνιός	80.64	0.0094	0.7591
45	Όρμος Αθηνιός	79.8	0.0251	2.0033
46	Όρμος Αθηνιός	80.64	0.0481	3.8801

47	Όρμος Αθηνιός	55.86	0.0481	2.6878
48	Όρμος Αθηνιός	72.66	0.0324	2.3561
49	Όρμος Αθηνιός	67.62	0.0209	1.4146
50	Όρμος Αθηνιός	5.04	0.0178	0.0896
51	Όρμος Αθηνιός	80.64	0.0230	1.8557
52	Όρμος Αθηνιός	81.06	0.0617	5.0025
53	Όρμος Αθηνιός	79.8	0.0847	6.7611
54	Όρμος Αθηνιός	55.86	0.0533	2.9799
55	Όρμος Αθηνιός	62.16	0.0136	0.8452
56	Όρμος Αθηνιός	78.12	0.0115	0.8988
57	Όρμος Αθηνιός	80.64	0.0230	1.8557
58	Όρμος Αθηνιός	81.48	0.0408	3.3239
59	Όρμος Αθηνιός	81.06	0.0502	4.0698
60	Όρμος Αθηνιός	78.96	0.0366	2.8907
61	Όρμος Αθηνιός	66.78	0.0241	1.6066

Στο **Σχήμα 72** που ακολουθεί βλέπουμε τις περιοχές που πλήττονται από το πετρέλαιο καθώς επίσης και την συχνότητα κατάληξης του πετρελαίου στις ακτές των περιοχών αυτών. Παρατηρούμε ότι στον Όρμο Αθηνιό έχουμε την μεγαλύτερη συχνότητα να καταλήξει το πετρέλαιο, η οποία αγγίζει το 62,2%. Αυτό είναι πολύ λογικό καθώς το σημείο της διαρροής βρίσκεται σε απόσταση μόλις 200 μέτρων από τον όρμο. Η αμέσως επόμενη πιο πιθανή περιοχή κατάληξης του πετρελαίου, με συχνότητα 8,5%, είναι η περιοχή του Ακρωτηρίου. Επίσης παρατηρούμε ότι υπάρχει και η συχνότητα της τάξης του 4,4% να μην «χτυπηθεί» με πετρέλαιο καμία ακτή. Σε αυτή την περίπτωση λόγω των ρευμάτων και των καιρικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή καταλήγει έξω από τον κλειστό κόλπο της Καλντέρας.

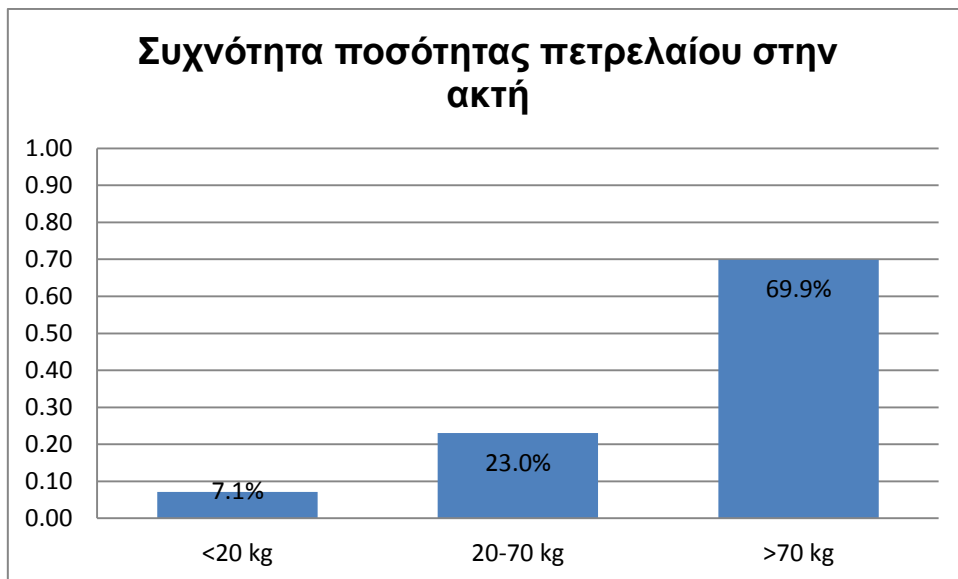


Σχήμα 72. Συχνότητα κατάληξης πετρελαίου ανά περιοχή για διαρροή 30 Lt/day.

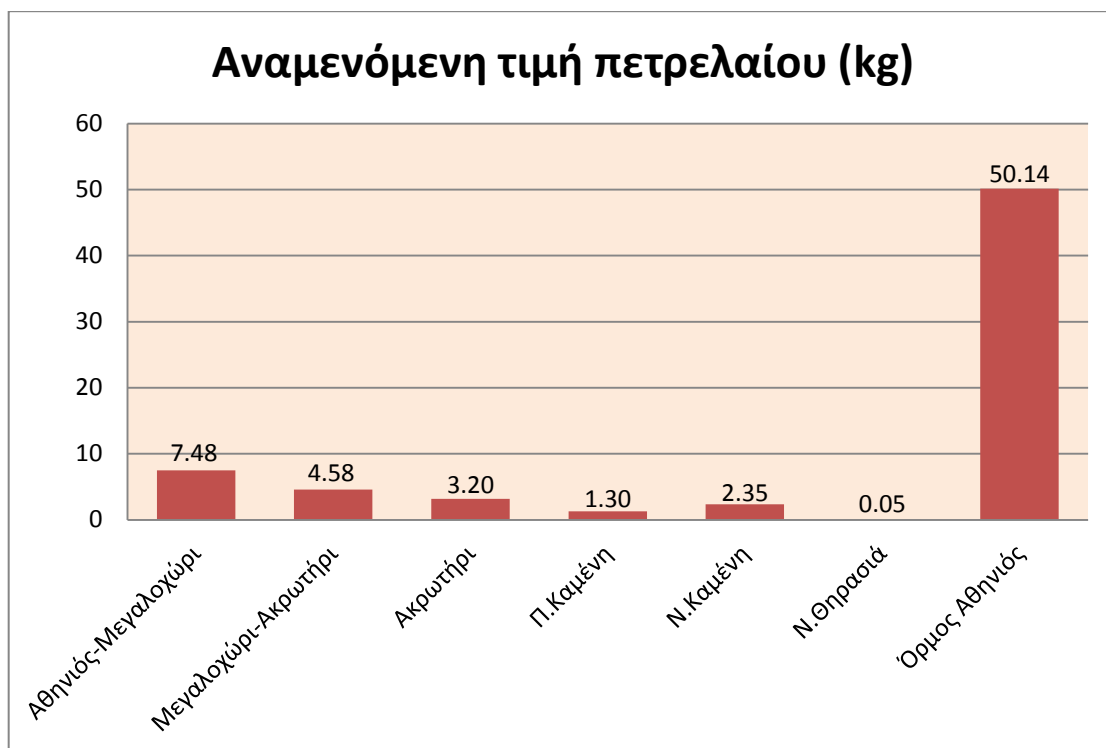


Σχήμα 73. Συχνότητα να καταλήξει το πετρέλαιο σε παραπάνω από μία περιοχές.

Στο **Σχήμα 73** βλέπουμε την συχνότητα το πετρέλαιο που διαρρέει στην θάλασσα να καταλήξει σε παραπάνω από μία περιοχές. Στην συνέχεια, στο **Σχήμα 74**, εμφανίζονται οι συχνότητες των διαφόρων ποσοτήτων πετρελαίου που καταλήγουν στην ακτή. Βλέπουμε ότι με συχνότητα 69.9% θα καταλήξουν στην ακτή περισσότερα από 70 kg πετρελαίου σε διάστημα 3 ημερών. Αυτό σημαίνει ότι στην πλειονότητα των περιπτώσεων το μεγαλύτερο μέρος του πετρελαίου που βγαίνει στην επιφάνεια της θάλασσας καταλήγει στην ακτή.

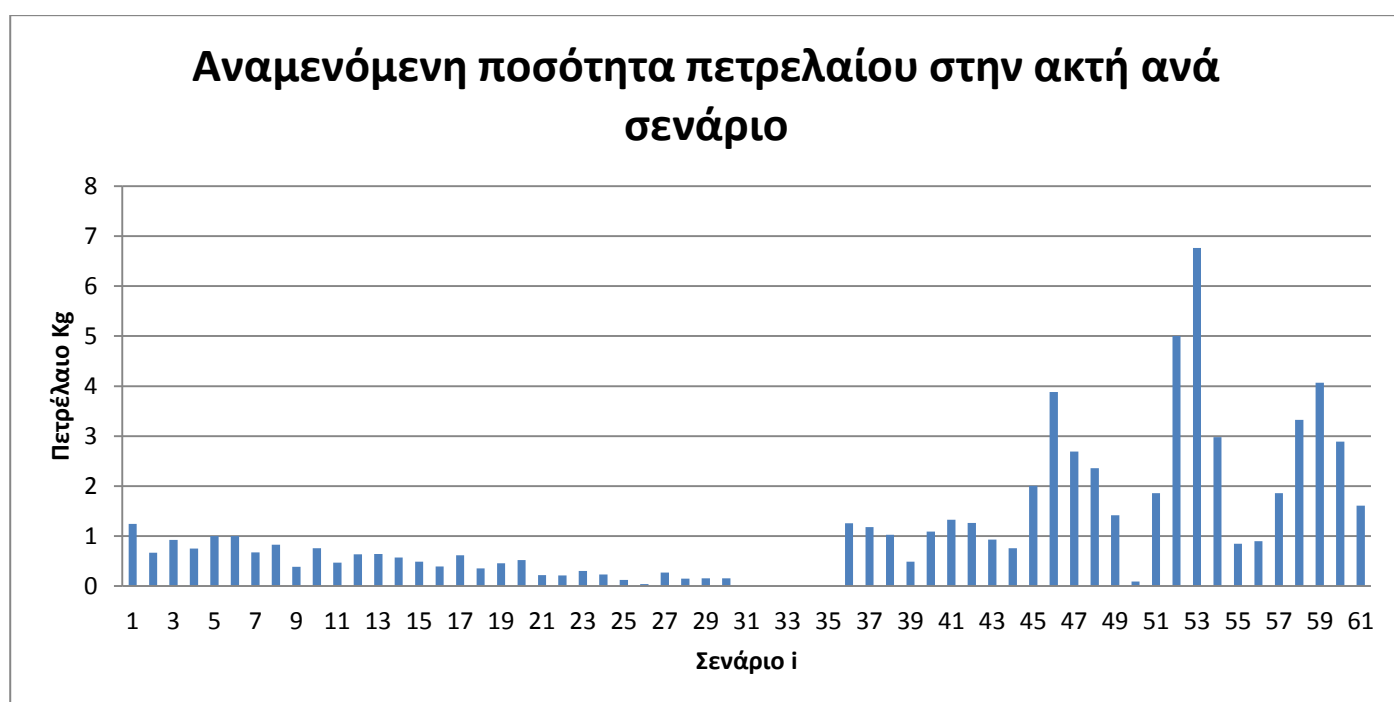


Σχήμα 74. Συχνότητες διαφόρων ποσοτήτων πετρελαίου στην ακτή.



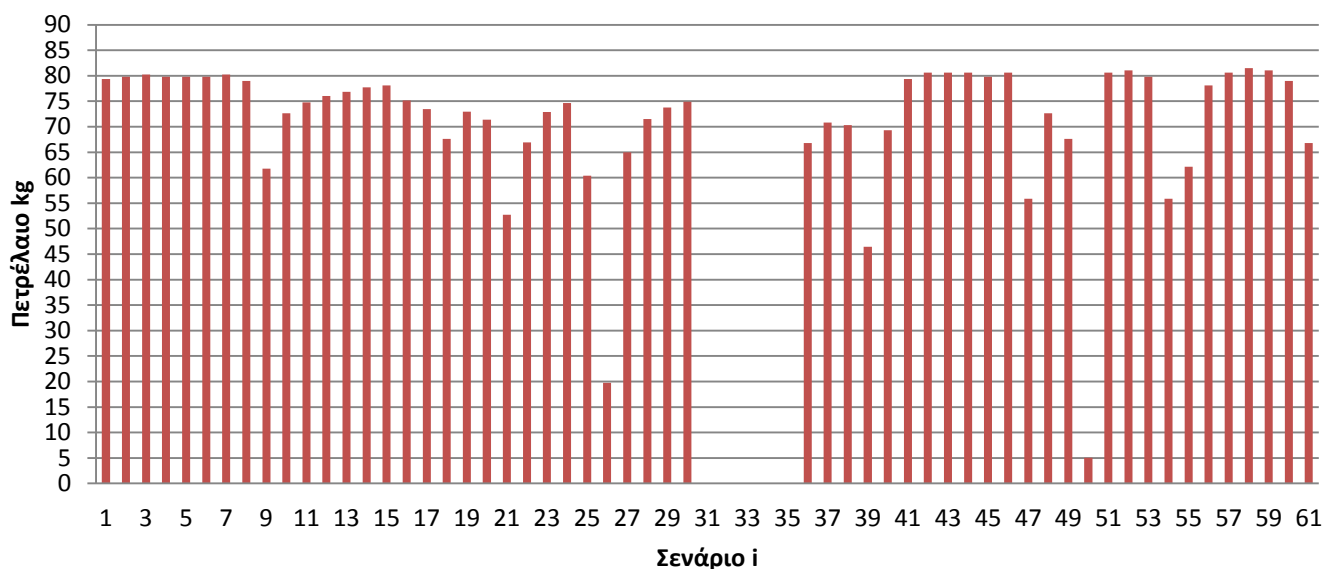
Σχήμα 75. Αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου ανά περιοχή.

Στο παραπάνω γράφημα, **Σχήμα 75**, παρουσιάζεται η αναμενόμενη τιμή του πετρελαίου που θα καταλήξει στην κάθε περιοχή. Από το γράφημα αναμένουμε την μεγαλύτερη ποσότητα στον Όρμο Αθηνό, περίπου 50,14 kg, ενώ σε όλες τις άλλες περιοχές η αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου είναι αρκετά μικρή, < 8 kg . Στο **Σχήμα 76** και **77** εμφανίζονται οι αναμενόμενες και οι πραγματικές ποσότητες πετρελαίου, αντίστοιχα, που καταλήγουν στην ακτή ανά σενάριο.



Σχήμα 76. Αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου στην ακτή ανά σενάριο.

Ποσότητα πετρελαίου στην ακτή ανά σενάριο



Σχήμα 77. Πραγματική ποσότητα πετρελαίου στην ακτή ανά σενάριο.

4.3.3. Ρυθμός διαρροής πετρελαίου 5 tn/day

Στα πλαίσια της μελέτης του ατυχήματος του Sea Diamond μελετάμε και την ακραία περίπτωση διαρροής 5tn/day. Θεωρούμε ότι η διαρροή έχει διάρκεια 3 μέρες. Το βάθος της διαρροής είναι 120 μέτρα ενώ η διάρκεια της προσομοίωσης είναι 3 μέρες. Στον **Πίνακα 5** παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα όλων των σεναρίων. Εμφανίζονται οι περιοχές που πλήττονται ανά σενάριο, η ποσότητα του πετρελαίου που καταλήγει στην ακτή, η συχνότητα εμφάνισης του κάθε σεναρίου καθώς και η αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου στην ακτή ανά σενάριο.

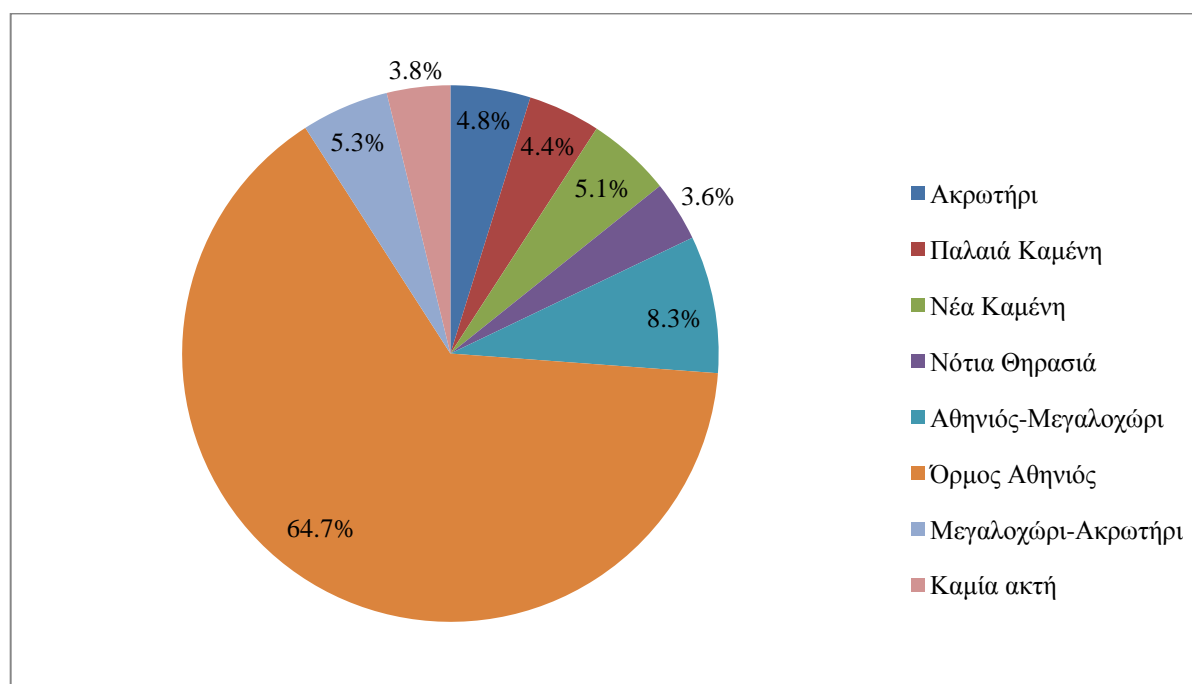
Πίνακας 5. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σεναρίων 5 tn/day.

Σενάρια	Περιοχές	ποσότητα (tn)	συχνότητα	αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου (tn)
1	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	14.032	0.0157	0.220
2	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	14.129	0.0084	0.118
3	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	14.137	0.0115	0.163
4	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	14.158	0.0094	0.133
5	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	14.129	0.0126	0.177
6	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	14.259	0.0126	0.179
7	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	14.272	0.0084	0.119
8	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	14.07	0.0105	0.147
9	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	11.151	0.0063	0.070
10	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήριο	12.802	0.0105	0.134
11	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήριο	13.054	0.0063	0.082
12	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήριο	13.406	0.0084	0.112

13	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήρι	13.583	0.0084	0.114
14	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήρι	13.759	0.0073	0.101
15	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήρι	13.671	0.0063	0.086
16	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήρι	13.419	0.0052	0.070
17	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήρι	13.52	0.0084	0.113
18	Ακρωτήρι	11.912	0.0052	0.062
19	Ακρωτήρι	12.945	0.0063	0.081
20	Ακρωτήρι	12.532	0.0073	0.092
21	Ακρωτήρι	8.93	0.0042	0.037
22	Ακρωτήρι	11.823	0.0031	0.037
23	Ακρωτήρι	12.827	0.0042	0.054
24	Ακρωτήρι	13.241	0.0031	0.042
25	Ακρωτήρι	10.377	0.0021	0.022
26	Ακρωτήρι	3.425	0.0021	0.007
27	Ακρωτήρι	11.469	0.0042	0.048
28	Ακρωτήρι	12.616	0.0021	0.026
29	Ακρωτήρι	12.984	0.0021	0.027
30	Ακρωτήρι	13.189	0.0021	0.028
31	Ακρωτήρι	0.134	0.0073	0.001
32	Καμία ακτή	0	0.0115	0.000
33	Καμία ακτή	0	0.0115	0.000
34	Καμία ακτή	0	0.0073	0.000
35	Καμία ακτή	0	0.0136	0.000
36	Όρμος Αθηνιός	0.336	0.0188	0.006
	Π.Καμένη	11.756	0.0188	0.221
37	Όρμος Αθηνιός	0.17	0.0167	0.003
	Π.Καμένη	0.47	0.0167	0.008
	Ν.Καμένη	11.525	0.0167	0.192
	Ν.Θηρασιά	0.418	0.0167	0.007
38	Όρμος Αθηνιός	1.282	0.0146	0.019
	Π.Καμένη	0.454	0.0146	0.007
	Ν.Καμένη	10.94	0.0146	0.160
	Ν.Θηρασιά	0.449	0.0146	0.007
39	Όρμος Αθηνιός	2.485	0.0105	0.026
	Ν.Καμένη	5.791	0.0105	0.061
	Ν.Θηρασιά	0.903	0.0105	0.009
40	Όρμος Αθηνιός	12.216	0.0157	0.192
41	Όρμος Αθηνιός	13.877	0.0167	0.232
	Ν.Καμένη	0.113	0.0167	0.002
42	Όρμος Αθηνιός	14.094	0.0157	0.221
43	Όρμος Αθηνιός	14.137	0.0115	0.163
44	Όρμος Αθηνιός	14.225	0.0094	0.134
45	Όρμος Αθηνιός	13.973	0.0251	0.351
46	Όρμος Αθηνιός	14.238	0.0481	0.685
47	Όρμος Αθηνιός	9.883	0.0481	0.476
48	Όρμος Αθηνιός	13.293	0.0324	0.431

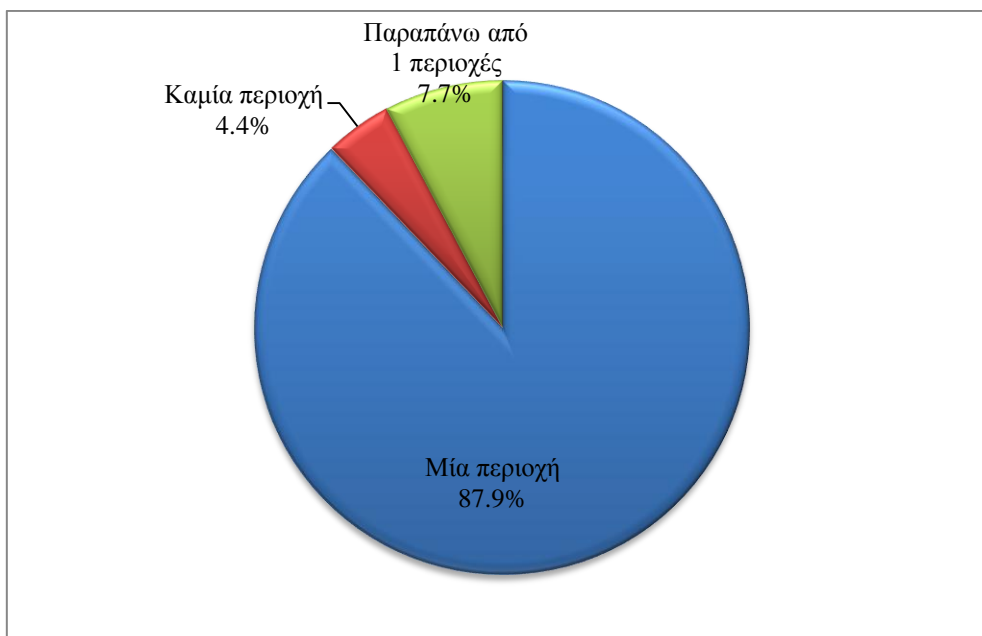
49	Όρμος Αθηνιός	11.743	0.0209	0.246
50	Όρμος Αθηνιός	0.974	0.0178	0.017
51	Όρμος Αθηνιός	14.074	0.0230	0.324
52	Όρμος Αθηνιός	14.295	0.0617	0.882
53	Όρμος Αθηνιός	14.133	0.0847	1.197
54	Όρμος Αθηνιός	11.042	0.0533	0.589
55	Όρμος Αθηνιός	12.583	0.0136	0.171
56	Όρμος Αθηνιός	13.876	0.0115	0.160
57	Όρμος Αθηνιός	14.215	0.0230	0.327
58	Όρμος Αθηνιός	14.318	0.0408	0.584
59	Όρμος Αθηνιός	14.304	0.0502	0.718
60	Όρμος Αθηνιός	13.89	0.0366	0.509
61	Όρμος Αθηνιός	11.91	0.0241	0.287

Στο **Σχήμα 78** που ακολουθεί βλέπουμε τις περιοχές που πλήττονται από το πετρέλαιο καθώς επίσης και την συχνότητα να καταλήξει πετρέλαιο στις ακτές των περιοχών αυτών. Παρατηρούμε ότι στον Όρμο Αθηνιό έχουμε την μεγαλύτερη συχνότητα να καταλήξει το πετρέλαιο, η οποία αγγίζει το 64,7%. Αυτό είναι πολύ λογικό καθώς το σημείο της διαρροής βρίσκεται σε απόσταση μόλις 200 μέτρων από τον όρμο. Η αμέσως επόμενη πιο πιθανή περιοχή κατάληξης του πετρελαίου, με συχνότητα 8,3%, είναι οι ακτές μεταξύ του Αθηνιού και του Μεγαλοχωρίου. Επίσης παρατηρούμε ότι υπάρχει και η συχνότητα της τάξης του 3,8% να μην «χτυπηθεί» με πετρέλαιο καμία ακτή. Σε αυτή την περίπτωση λόγω των ρευμάτων και των καιρικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή καταλήγει έξω από τον κλειστό κόλπο της Καλντέρας.

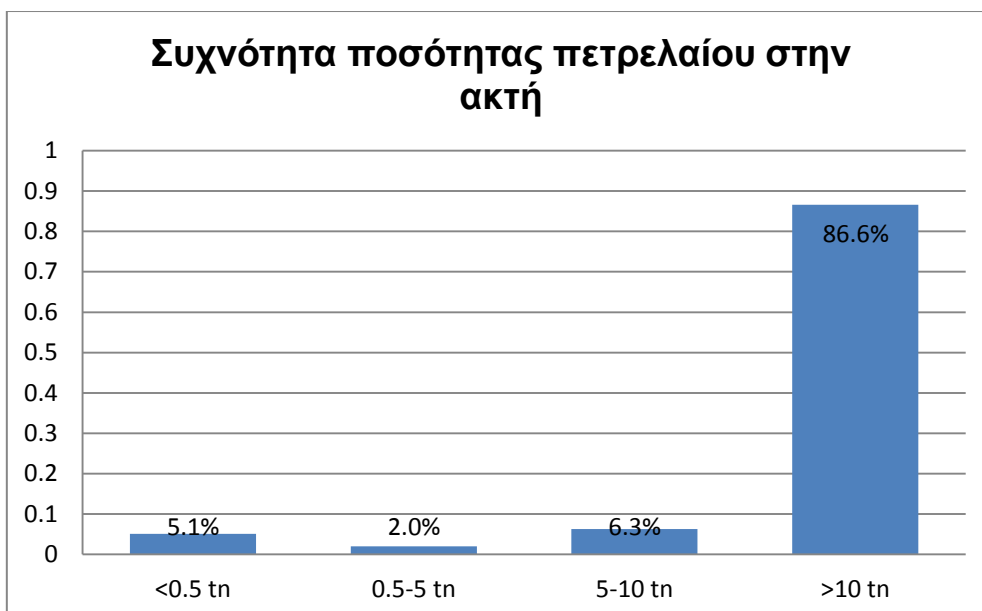


Σχήμα 78. Συχνότητα κατάληξης πετρελαίου ανά περιοχή για διαρροή 5 tn/day.

Στο **Σχήμα 79** παρουσιάζονται οι συχνότητες να «χτυπηθούν» ταυτόχρονα παραπάνω από μία περιοχές. Παρατηρούμε ότι η συχνότητα αυτή είναι μικρή γεγονός αρκετά θετικό, αφού σε μία τέτοια περίπτωση θα ήταν πολύ πιο χρονοβόρο και πιο δαπανηρό να περισυλλέξουμε το πετρέλαιο από τις ακτές.



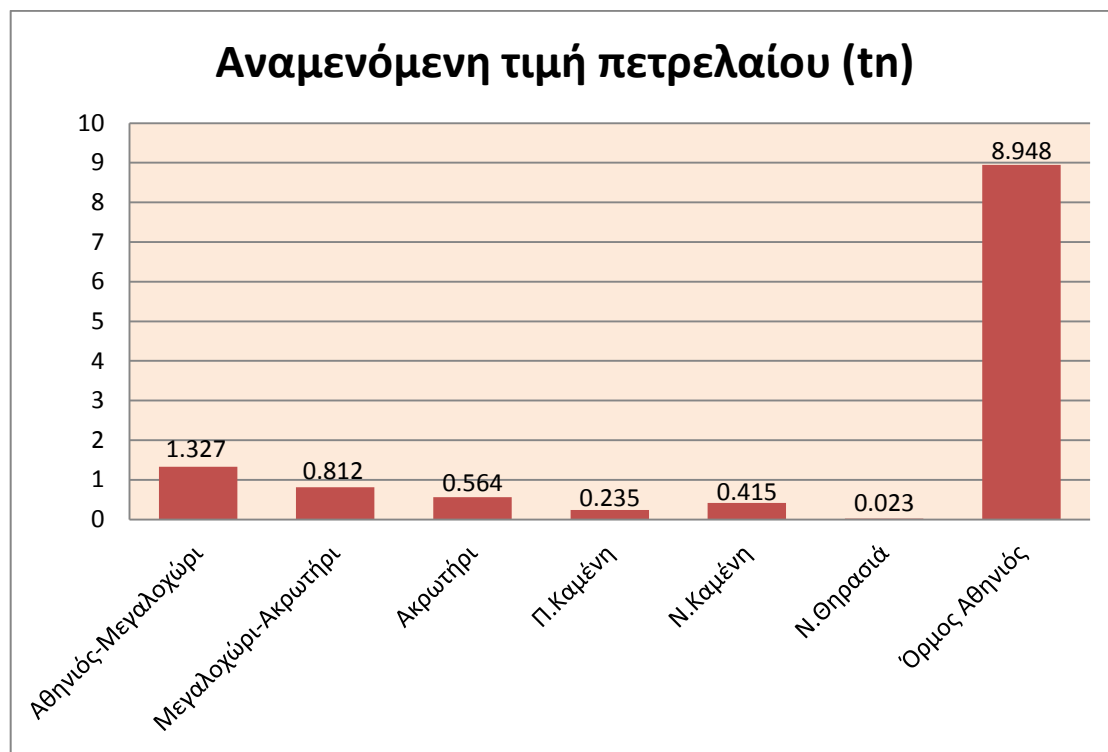
Σχήμα 79. Συχνότητα να καταλήξει το πετρέλαιο σε παραπάνω από μία περιοχές.



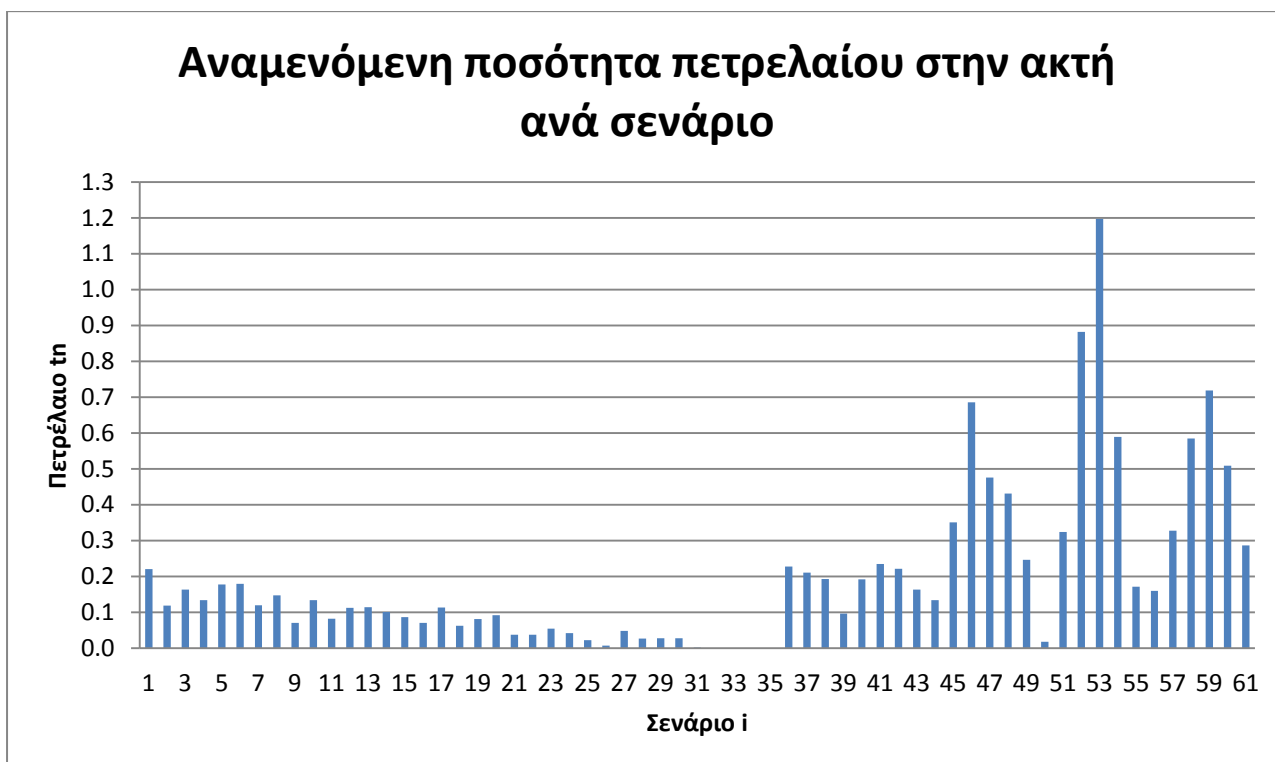
Σχήμα 80. Συχνότητες διαφόρων ποσοτήτων πετρελαίου στην ακτή.

Από το σύνολο των σεναρίων προκύπτει, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 80**, ότι ποσότητα μεγαλύτερη των 10 tn θα καταλήξει στην ακτή με συχνότητα 86,6%. Στο **Σχήμα 81** βλέπουμε την ποσότητα του πετρελαίου που αναμένουμε να καταλήξει σε

κάθε περιοχή ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών. Η πιο επικίνδυνη περιοχή είναι ο Όρμος Αθηνιός, στον οποίο αναμένουμε να καταλήξουν 8,948 tn πετρελαίου.

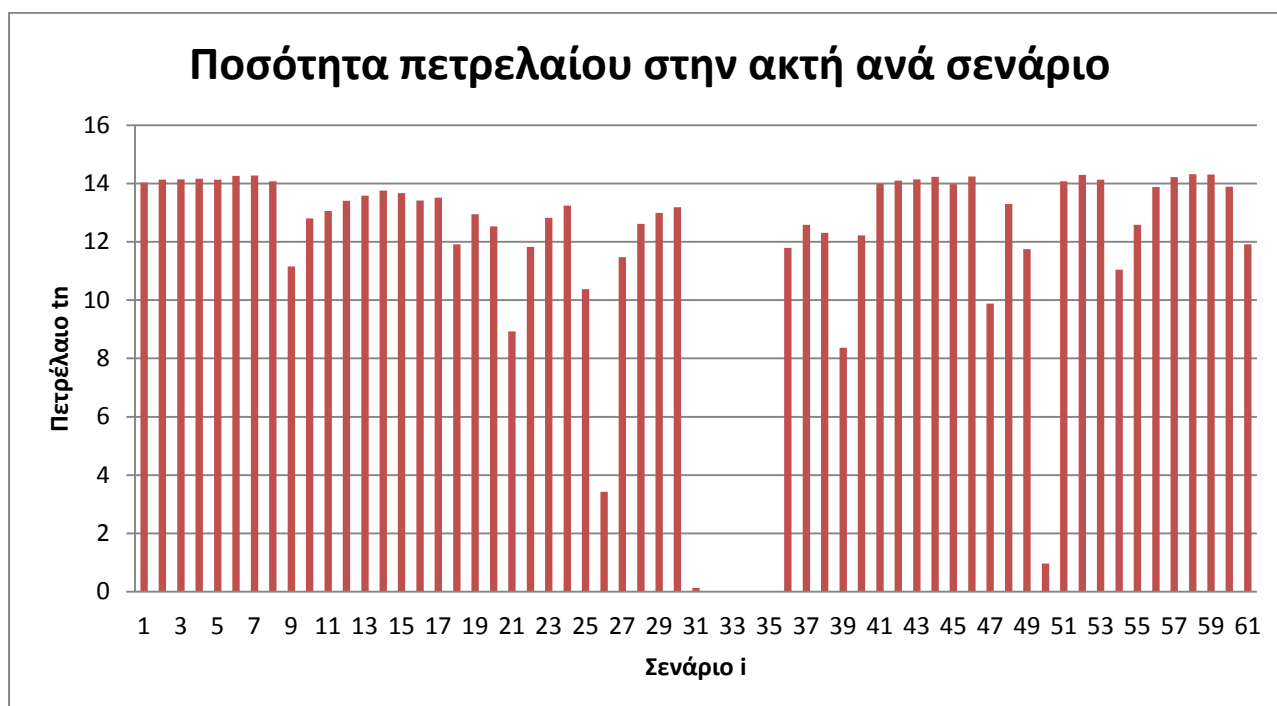


Σχήμα 81. Αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου ανά περιοχή.



Σχήμα 82. Αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου στην ακτή ανά σενάριο.

Στο **Σχήμα 82** βλέπουμε την επικινδυνότητα των διαφόρων σεναρίων ανάλογα με την ποσότητα του πετρελαίου που αναμένεται να καταλήξει στην ακτή, ενώ στο **Σχήμα 83** την πραγματική ποσότητα πετρελαίου που καταλήγει στην ακτή.



Σχήμα 83. Πραγματική ποσότητα πετρελαίου που καταλήγει στην ακτή ανά σενάριο.

4.3.4. Ρυθμός διαρροής πετρελαίου 100 tn ακαριαία.

Η κατηγορία αυτών των σεναρίων είναι υποθετική. Θεωρήσαμε ότι ακαριαία, μέσα σε 1 ώρα, ελευθερώνονται 100 τόνοι πετρελαίου στην θάλασσα. Το βάθος της διαρροής είναι 120 μέτρα ενώ η διάρκεια της προσομοίωσης είναι 3 μέρες. Στον **Πίνακα 6** παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα όλων των σεναρίων. Εμφανίζονται οι περιοχές που πλήττονται ανά σενάριο, η ποσότητα του πετρελαίου που καταλήγει στην ακτή, η συχνότητα εμφάνισης του κάθε σεναρίου καθώς και η αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου στην ακτή ανά σενάριο.

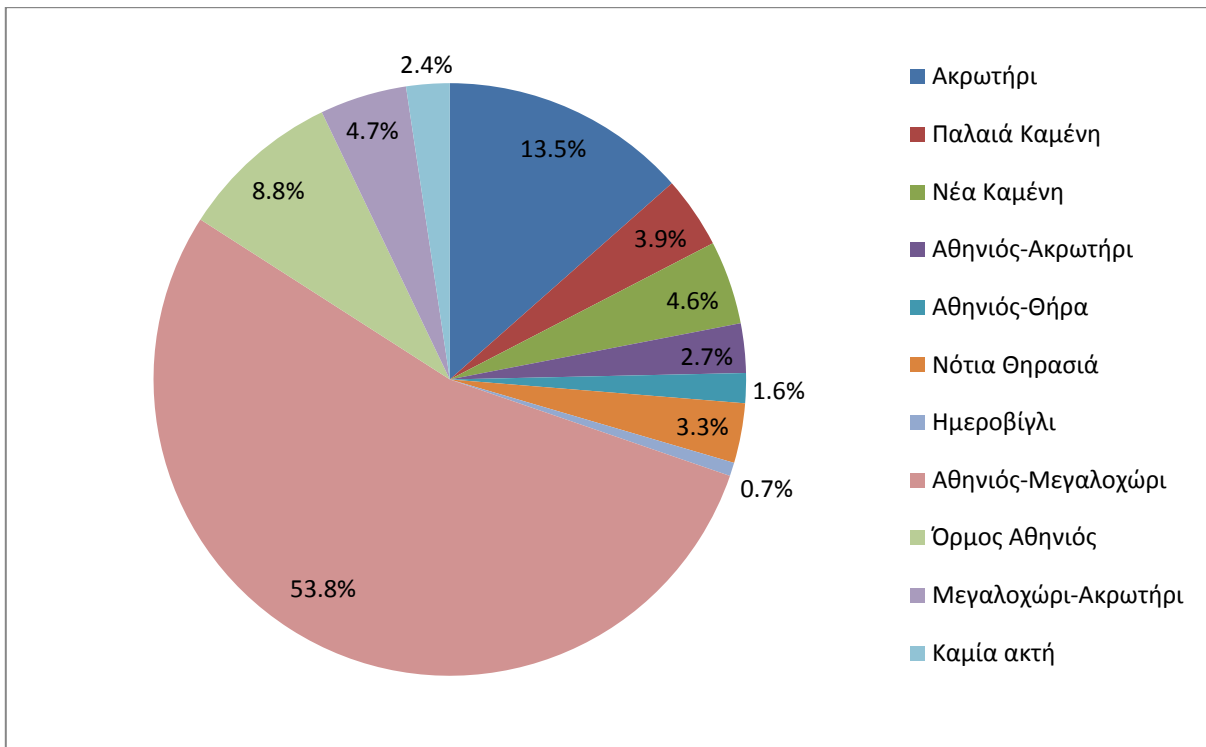
Πίνακας 6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σεναρίων 100 tn.

Σενάρια	Περιοχές	ποσότητα (tn)	συχνότητα	αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου (tn)
1	Ακρωτήριο	0.421	0.0157	0.007
	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	89.846	0.0157	1.411
2	Ακρωτήριο	0.573	0.0084	0.005
	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	89.691	0.0084	0.753
3	Ακρωτήριο	0.178	0.0115	0.002
	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	90.09	0.0115	1.036

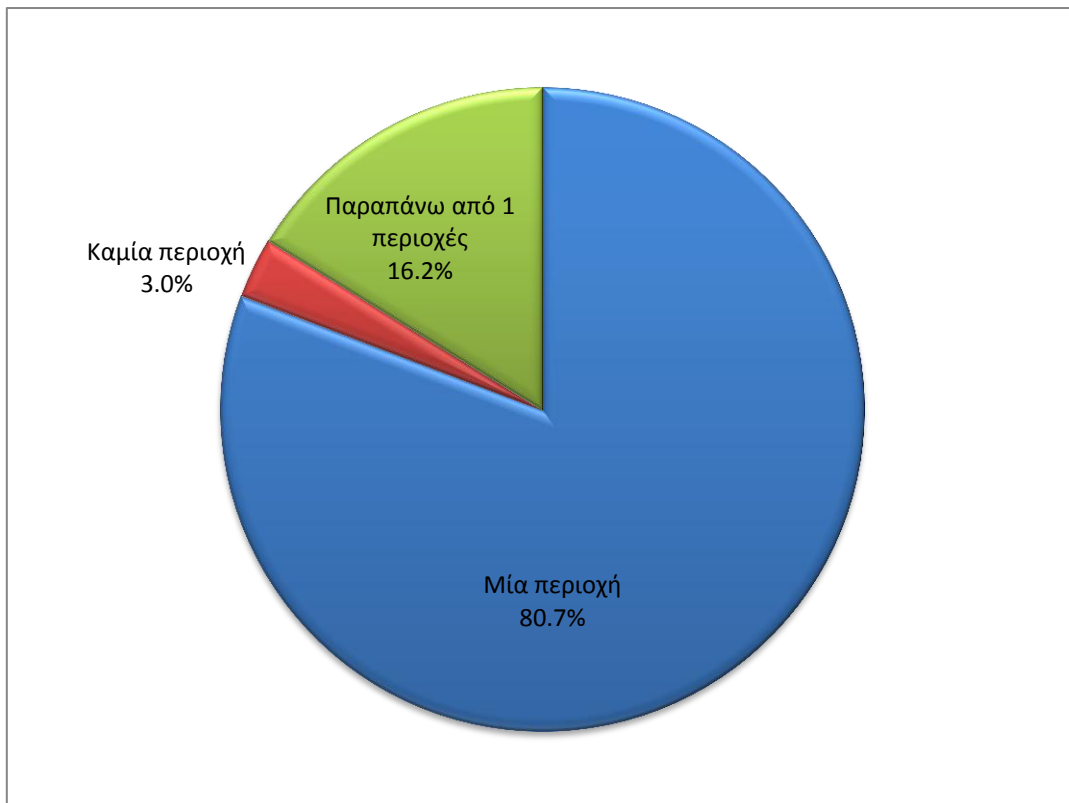
4	Ακρωτήρι	0.77	0.0094	0.007
	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	89.498	0.0094	0.841
5	Ακρωτήρι	0.386	0.0126	0.005
	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	89.607	0.0126	1.129
6	Ακρωτήρι	0.332	0.0126	0.004
	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	89.901	0.0126	1.133
7	Ακρωτήρι	0.449	0.0084	0.004
	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	89.452	0.0084	0.751
8	Ακρωτήρι	0.432	0.0105	0.005
	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	85.974	0.0105	0.903
9	Ακρωτήρι	0.367	0.0063	0.002
	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	72.988	0.0063	0.460
10	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήρι	75.621	0.0105	0.794
11	Ακρωτήρι	0.361	0.0063	0.002
	Αθηνιός	0.662	0.0063	0.004
	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήρι	93.962	0.0063	0.592
12	Αθηνιός	0.516	0.0084	0.004
	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήρι	95.18	0.0084	0.800
13	Αθηνιός	0.483	0.0084	0.004
	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήρι	95.903	0.0084	0.806
14	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήρι	96.092	0.0073	0.704
15	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήρι	95.5	0.0063	0.599
16	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήρι	85.852	0.0052	0.449
17	Μεγαλοχώρι-Ακρωτήρι	88.213	0.0084	0.738
18	Ακρωτήρι	90.572	0.0052	0.474
19	Ακρωτήρι	74.23	0.0063	0.466
20	Ακρωτήρι	83.681	0.0073	0.613
21	Ακρωτήρι	85.326	0.0042	0.357
22	Ακρωτήρι	90.406	0.0031	0.284
23	Ακρωτήρι	89.658	0.0042	0.375
24	Ακρωτήρι	90.584	0.0031	0.284
25	Ακρωτήρι	91.658	0.0021	0.192
26	Ακρωτήρι	85.036	0.0021	0.178
27	Ακρωτήρι	90.868	0.0042	0.380
28	Ακρωτήρι	91.599	0.0021	0.192
29	Ακρωτήρι	97.365	0.0021	0.204
30	Ακρωτήρι	95.987	0.0021	0.201
31	Ακρωτήρι	1.378	0.0073	0.010
32	Καμία ακτή	0	0.0115	0.000
33	Καμία ακτή	0	0.0115	0.000
34	Καμία ακτή	0	0.0073	0.000
35	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	0.388	0.0136	0.005
36	Π.Καμένη	38.627	0.0188	0.727
37	Όρμος Αθηνιός	0.832	0.0167	0.014
	Π.Καμένη	4.339	0.0167	0.072

	N.Καμένη	52.609	0.0167	0.879
	N.Θηρασιά	38.447	0.0167	0.642
38	Όρμος Αθηνιός	8.484	0.0146	0.124
	Π.Καμένη	0.321	0.0146	0.005
	N.Καμένη	68.506	0.0146	1.000
	N.Θηρασιά	1.701	0.0146	0.025
	Όρμος Αθηνιός	15.754	0.0105	0.165
39	N.Καμένη	48.556	0.0105	0.510
	N.Θηρασιά	1.445	0.0105	0.015
	Όρμος Αθηνιός	76.495	0.0157	1.201
40	Ακρωτήριο	0.322	0.0157	0.005
	Ακρωτήριο (Νότια)	2.923	0.0157	0.046
	Όρμος Αθηνιός	95.836	0.0167	1.600
41	Όρμος Αθηνιός	95.836	0.0167	1.600
	N.Καμένη	0.646	0.0167	0.011
42	Όρμος Αθηνιός	96.776	0.0157	1.519
43	Αθηνιός-Θήρα	96.789	0.0115	1.113
44	Ημεροβίγλι	7.127	0.0094	0.067
	Αθηνιός-Θήρα	89.452	0.0094	0.841
45	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	96.701	0.0251	2.428
46	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	97.07	0.0481	4.671
47	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	98.07	0.0481	4.719
48	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	96.81	0.0324	3.139
49	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	97.167	0.0209	2.033
50	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	96.781	0.0178	1.721
51	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	98.112	0.0230	2.258
52	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	98.364	0.0617	6.070
53	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	94.017	0.0847	7.966
54	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	94.416	0.0533	5.037
55	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	92.581	0.0136	1.259
56	Αθηνιός-Ακρωτήριο	96.974	0.0115	1.116
57	Αθηνιός-Ακρωτήριο	97.23	0.0230	2.237
58	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	96.684	0.0408	3.944
59	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	96.768	0.0502	4.859
60	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	89.166	0.0366	3.264
61	Αθηνιός-Μεγαλοχώρι	69.3	0.0241	1.667

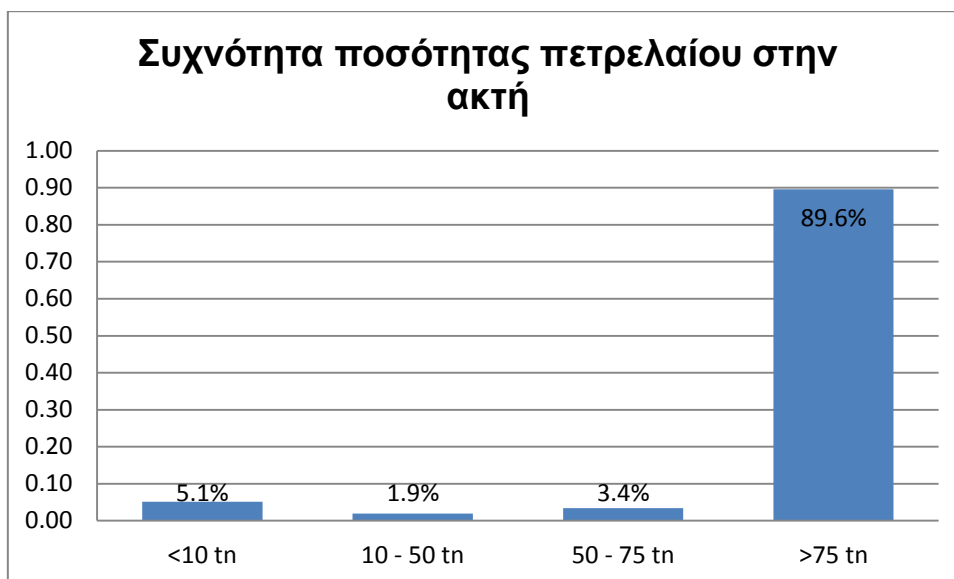
Στο **Σχήμα 84** παρατηρούμε ότι η πιο επικίνδυνη περιοχή να καταλήξει το πετρέλαιο είναι μεταξύ του Όρμου Αθηνιού και του Μεγαλοχωρίου, με συχνότητα 53,8%. Αμέσως μετά ακολουθεί η περιοχή του Ακρωτηρίου με συχνότητα 13,5%, ενώ ο Όρμος Αθηνιός εμφανίζεται με συχνότητα 8,8%. Όλες οι υπόλοιπες περιοχές έχουν συχνότητα κατάληξης του πετρελαίου μικρότερη από 5%. Σε σχέση με τα σενάρια των προηγούμενων ρυθμών διαρροής παρατηρούμε ότι η συχνότητα το πετρέλαιο να μην πλήξει καμία περιοχή έχει μειωθεί στο 2,4%. Στο **Σχήμα 85** παρουσιάζονται οι συχνότητες να «χτυπηθούν» ταυτόχρονα παραπάνω από μία περιοχές.



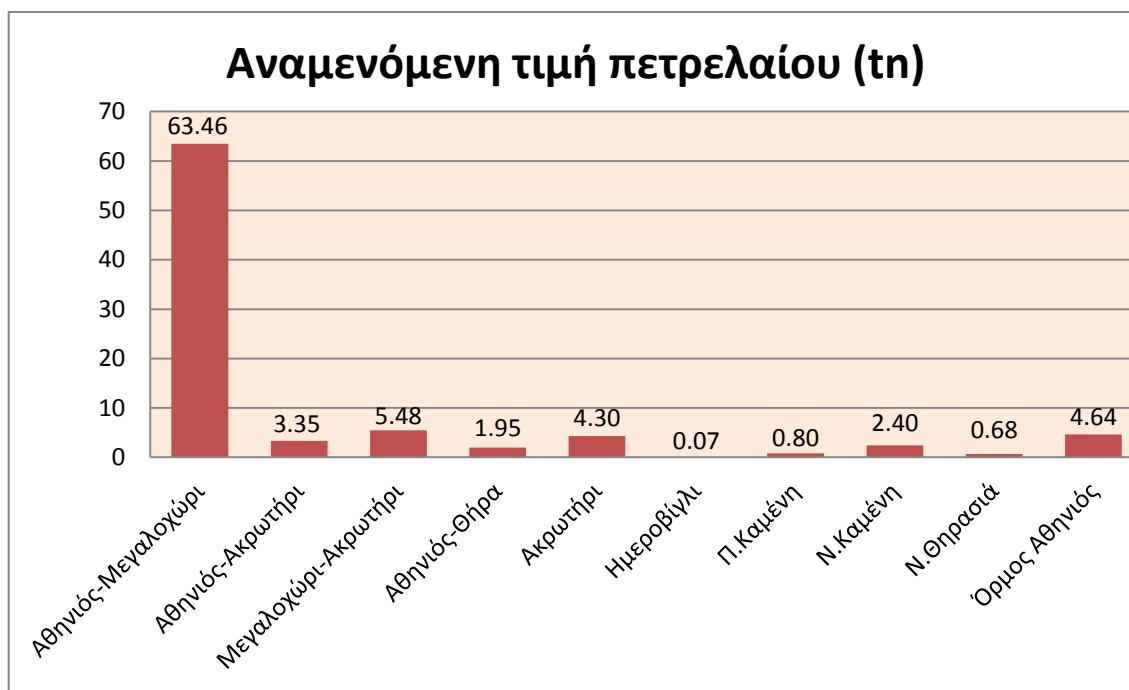
Σχήμα 84. Συχνότητες κατάληξης πετρελαίου στις διάφορες περιοχές.



Σχήμα 85. Συχνότητα κατάληξης πετρελαίου σε παραπάνω από 1 περιοχές.



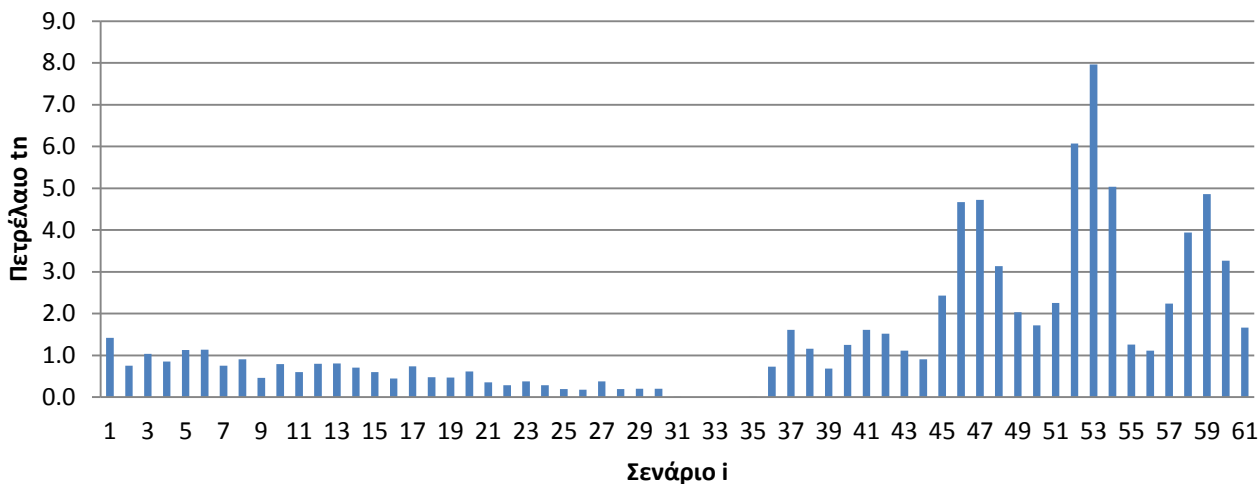
Σχήμα 86. Συχνότητα κατάληξης διαφόρων ποσοτήτων πετρελαίου στην ακτή.



Σχήμα 87. Αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου στις διάφορες περιοχές.

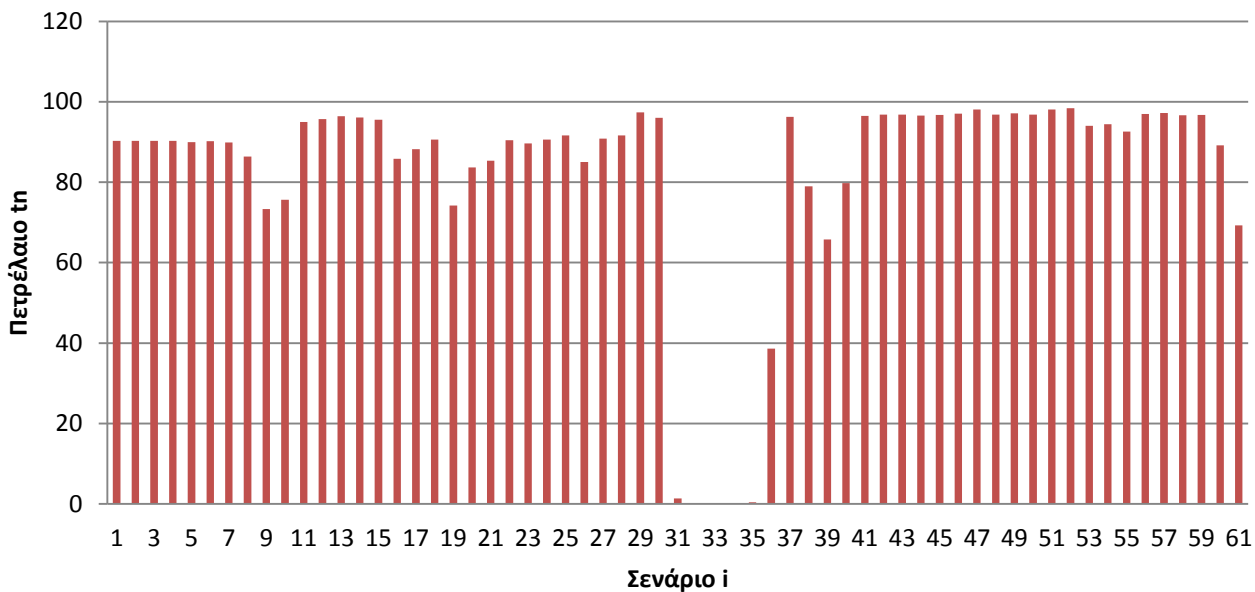
Από το σύνολο των σεναρίων προκύπτει, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 86**, ότι ποσότητα μεγαλύτερη των 75 tn θα καταλήξει στην ακτή με συχνότητα 89,6%. Στο **Σχήμα 87** βλέπουμε την αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου που θα καταλήξει στις διάφορες περιοχές, ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών. Σε σχέση με τις προηγούμενες περιπτώσεις παρατηρούμε ότι η περιοχή που θα μολυνθεί περισσότερο από το πετρέλαιο είναι οι ακτές μεταξύ του Όρμου Αθηνιού και του Μεγαλοχωρίου και όχι αποκλειστικά ο Όρμος Αθηνιός. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι ξαφνικά μεγάλη ποσότητα πετρελαίου διαρρέει στην θάλασσα και η οποία κατευθύνεται σαν μία ενιαία μάζα.

Αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου στην ακτή ανά σενάριο



Σχήμα 88. Αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου στην ακτή ανά σενάριο.

Ποσότητα πετρελαίου στην ακτή ανά σενάριο



Σχήμα 89. Πραγματική ποσότητα πετρελαίου που καταλήγει στην ακτή.

Στο **Σχήμα 88** βλέπουμε την επικινδυνότητα των διαφόρων σεναρίων ανάλογα με την ποσότητα του πετρελαίου που αναμένεται να καταλήξει στην ακτή, ενώ στο **Σχήμα 89** την πραγματική ποσότητα πετρελαίου που καταλήγει στην ακτή. Στον **Πίνακα 7** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των σεναρίων 1, 19, 37 για όλους τους ρυθμούς διαρροής. Παρατηρούμε ότι σε όλες τις περιπτώσεις το πετρέλαιο καταλήγει στις

ίδιες περιοχές, με εξαίρεση το σενάριο 1, όπου για την διαρροή των 100 tn καταλήγει και στην περιοχή του Ακρωτηρίου. Η μοναδική διαφορά είναι απλά ότι καταλήγει στην ακτή μεγαλύτερη ποσότητα πετρελαίου.

Πίνακας 7. Σύγκριση αποτελεσμάτων σεναρίων 1, 19, 37.

Ποσότητα πετρελαίου στην ακτή (kg)					
Σενάριο i	Περιοχές	Ρυθμός διαρροής			
		20 lt/day	30 lt/day	5 tn/day	100 tn
1	<i>Αθηνιός-Μεγαλοχώρι</i>	<i>53.34</i>	<i>79.38</i>	<i>14032</i>	<i>89846</i>
	Ακρωτήριο	-	-	-	421
19	Ακρωτήριο	48.78	72.96	12945	74230
37	Όρμος Αθηνιός	0.42	0.63	170	832
	Π.Καμένη	1.68	2.35	470	4339
	Ν.Καμένη	43.68	65.52	11525	52609
	Ν.Θηρασιά	1.68	2.31	418	38447

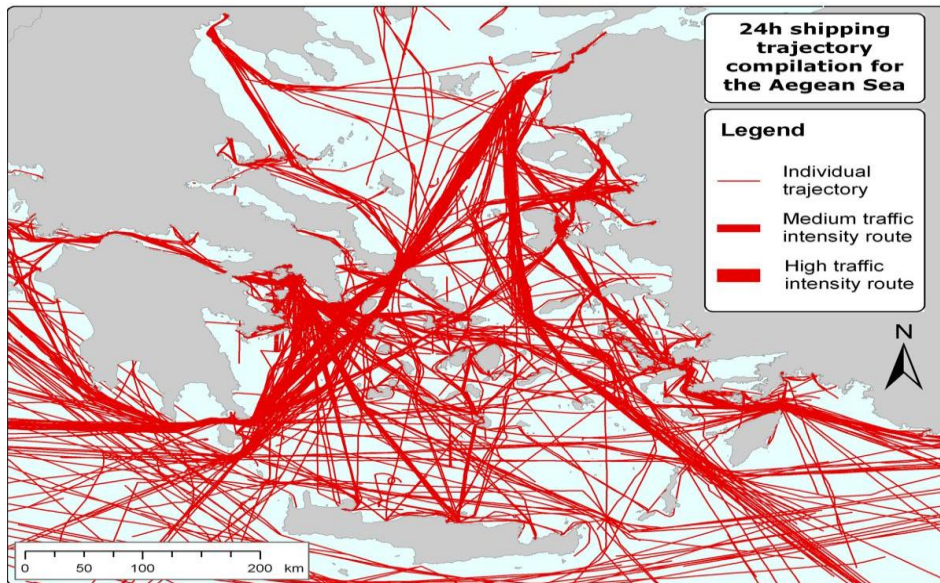
Κεφάλαιο 5. Μοντέλο ατυχήματος πλοίου tanker Suezmax στο Αιγαίο

5.1 Εισαγωγή

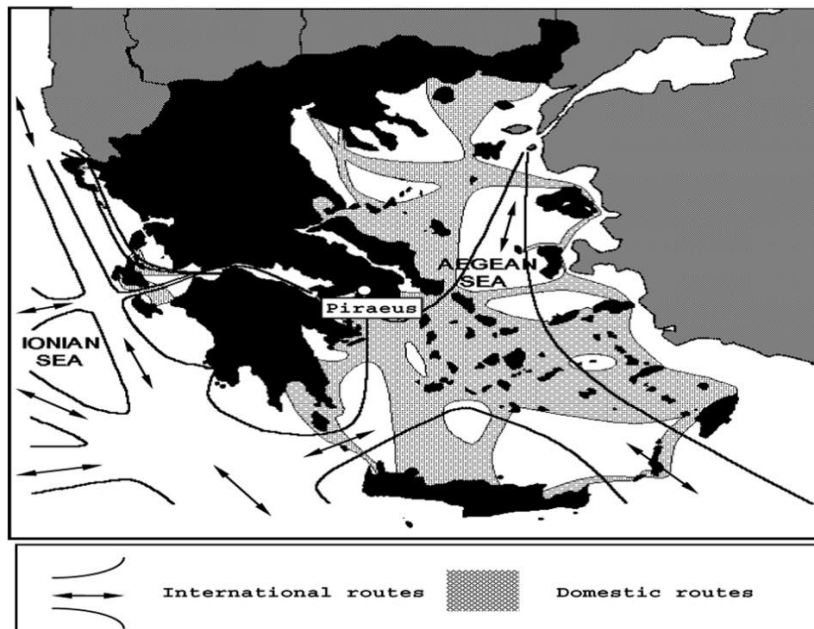
Το Αιγαίο Πέλαγος, εδώ και πολλές χιλιετίες αποτελεί μία θάλασσα ιδιαίτερης σημασίας. Ως θαλάσσιος δρόμος, συνέβαλλε στην ανταλλαγή ιδεών και αγαθών, καθώς και στην ανάπτυξη του ελληνικού και των μεσογειακών πολιτισμών. Στις μέρες μας, οι περισσότερες θάλασσες παγκοσμίως και μεγάλο μέρος των ευρωπαϊκών και μεσογειακών θαλασσών υποβαθμίζονται σημαντικά. Το Αιγαίο ωστόσο, εξακολουθεί να χαρακτηρίζεται ως μία από τις πιο βιοποικίλες θάλασσες τόσο στην Ευρώπη, όσο και παγκοσμίως, στηρίζοντας σημαντικούς πληθυσμούς από σπάνια και προστατευόμενα είδη. Για παράδειγμα στο Αιγαίο σήμερα επιβιώνουν μερικοί από τους σημαντικότερους πληθυσμούς θαλάσσιων θηλαστικών στη Μεσόγειο, με 4 είδη δελφινιών, 2 είδη φαλαινών και το μεγαλύτερο εναπομείναντα στον κόσμο πληθυσμό Μεσογειακής φώκιας, ένα είδος που απειλείται με άμεση εξαφάνιση.

Ωστόσο, πριν ακόμα γνωρίσουμε την ιδιαίτερη βιοποικιλότητα του Αιγαίου, η οποία κατάφερε να επιβιώσει για χιλιάδες χρόνια και αποτελεί σήμερα παγκόσμια κληρονομιά, κινδυνεύουμε να φανούμε ανάξιοι να την προστατεύσουμε και να την παραδώσουμε στις επόμενες γενιές. Δυστυχώς, το Αιγαίο αντιμετωπίζει καθημερινά σοβαρό περιβαλλοντικό ρίσκο, από την ανεξέλεγκτη ναυτιλιακή δραστηριότητα. Το Αιγαίο περιλαμβάνει σε ένα μεγάλο μέρος διεθνή ύδατα, τα οποία αποτελούν στο σύνολό τους περιοχές ελεύθερης ναυσιπλοΐας, η οποίες διαπερνούν τη χώρα, επηρεάζοντας τα ζωτικά μας συμφέροντα. Η ασφαλής ή μη ναυσιπλοΐα επηρεάζει άμεσα τη διατήρηση των βιοποικίλων, παραγωγικών και καθαρών θαλασσών από τις οποίες εξαρτώνται σημαντικές κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες, όπως η αλιεία, ο τουρισμός, η ιχθυοκαλλιέργεια, όπως επίσης η επιβίωση και η υγεία των τοπικών κοινωνιών στο σύνολό τους.

Τα στοιχεία από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό για την Ασφάλεια στη Θάλασσα έδειξαν το 2010 ότι το Αιγαίο έχει τον υψηλότερο κίνδυνο ατυχημάτων ναυτιλίας στη Μεσόγειο. Σύμφωνα με τα τελευταία επίσημα στοιχεία η κίνηση των πλοίων στο Αιγαίο έχει φτάσει σε οριακό σημείο καθώς περισσότερα από 60.000 εμπορικά πλοία διασχίζουν κάθε χρόνο το αρχιπέλαγος. Το πλέον ανησυχητικό στοιχείο από σχετικές έρευνες είναι ότι η πλειοψηφία αυτών των πλοίων, πολλά από τα οποία μεταφέρουν πετρέλαιο και επικίνδυνες τοξικές ουσίες, περνούν από το «στενό» της Άνδρου και της Ευβοίας. Οι διαδρομές που ακολουθήθηκαν από τα πλοία σε μια τυπική ημέρα στο Αιγαίο εμφανίζεται ως ένας ιστός αράχνης στο **Σχήμα 90 α**, ενώ στο **Σχήμα 90 β** βλέπουμε τις βασικές πορείες στο Αιγαίο.



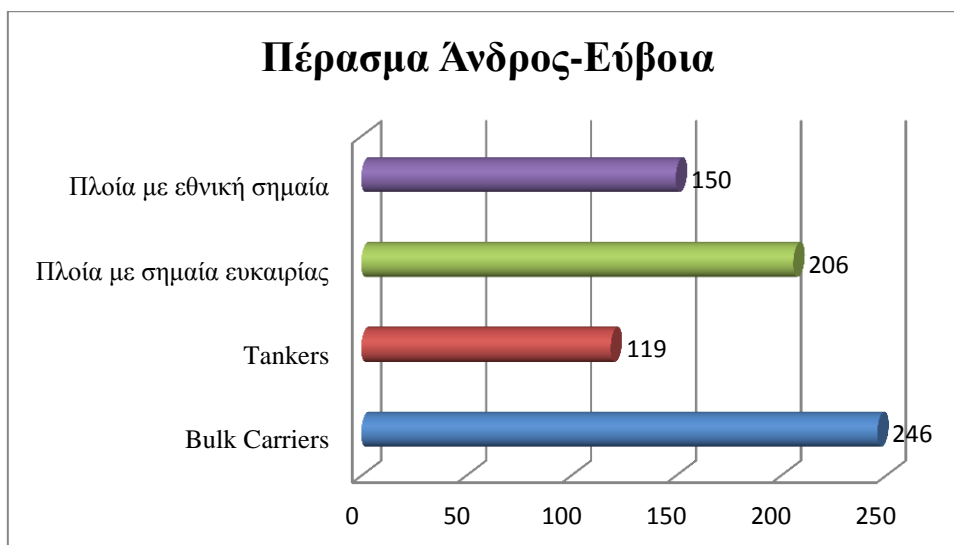
Σχήμα 90 α. Διαδρομές εμπορικών πλοίων στο Αιγαίο.



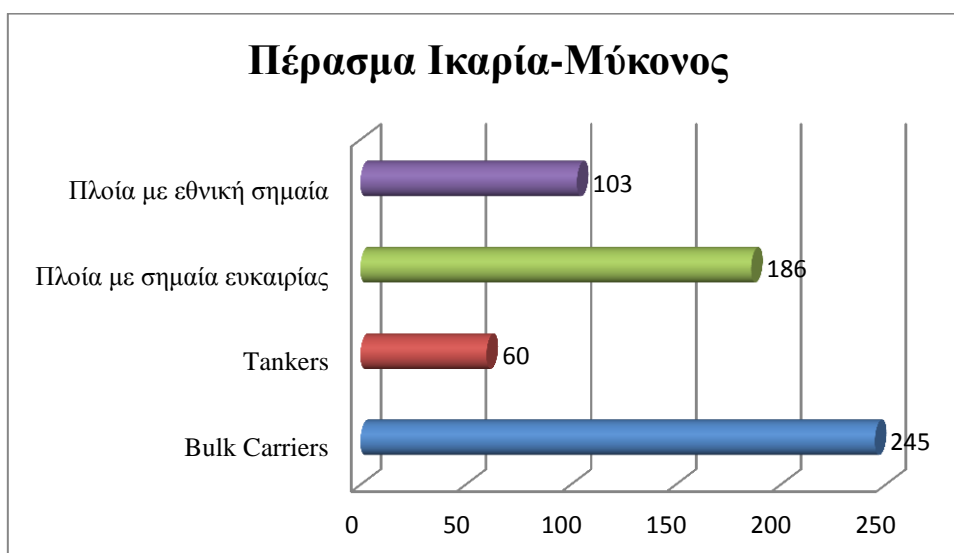
Σχήμα 90 β. Οι βασικές πορείες στο Αιγαίο.

Ενδεικτικό των αποτελεσμάτων μίας έρευνας του Αρχιπελάγους, Ινστιτούτο Θαλάσσιας & Περιβαλλοντικής Έρευνας Αιγαίου, σε συνεργασία με την IMIS Hellas και τη χρήση του συστήματος Mariweb είναι ότι σε 2 από τα βασικότερα περάσματα του Αιγαίου βλέπουμε ότι κατά το μήνα Νοέμβριο 2009, 370 πλοία διαπέρασαν το στενό Εύβοιας – Άνδρου και 316 το στενό Μυκόνου – Ικαρίας, εκ των οποίων περίπου 12% είχαν επικίνδυνο φορτίο (π.χ. χημικά ή τοξικά απόβλητα). Από το σύνολο των πλοίων το 71% ήταν φορτηγά ενώ 26% δεξαμενόπλοια. Αξίζει να σημειώσουμε ότι περισσότερα από τα μισά πλοία που διαπλέουν το Αιγαίο φέρουν τις λεγόμενες «σημαίες ευκαιρίας», δηλαδή είναι νηολογημένα σε χώρες όπως ο Παναμάς, η Λιβερία κ.α. που ως γνωστόν χαρακτηρίζονται από ελαστική εφαρμογή της διεθνούς ναυτιλιακής νομοθεσίας και μεταξύ άλλων επιτρέπουν στα πλοία να ταξιδεύουν συχνά με ανεπαρκείς υποδομές αποτροπής ρύπανσης, χαμηλόμισθα

πληρώματα - συνήθως όχι κατάλληλα εκπαιδευμένα - και μετρίως συντηρημένα πλοία. Τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνονται στο **Σχήμα 91** και στο **Σχήμα 92**.



Σχήμα 91. Διέλευση εμπορικών πλοίων από το πέρασμα Άνδρος- Εύβοια.



Σχήμα 92. Διέλευση εμπορικών πλοίων από το πέρασμα Ικαρία-Μύκονος.

Το συγκεκριμένο γεγονός εγκυμονεί σοβαρούς κινδύνους για την πρόκληση ατυχημάτων στην περιοχή και την ρύπανση της. Αξίζει να αναφέρουμε ότι οι ελληνικές θάλασσες χαρακτηρίζονται από την απουσία καθορισμού ελεγχόμενων διαδρόμων υποχρεωτικής πορείας (separation lanes), ελέγχου της κίνησης των πλοίων (traffic control), καθώς και μηχανισμού έγκαιρης αντίδρασης και αντιμετώπισης μικρού ή μεγάλου ατυχήματος, (μέτρα που εφαρμόζονται σχεδόν σε όλες τις κλειστές θάλασσες του κόσμου).

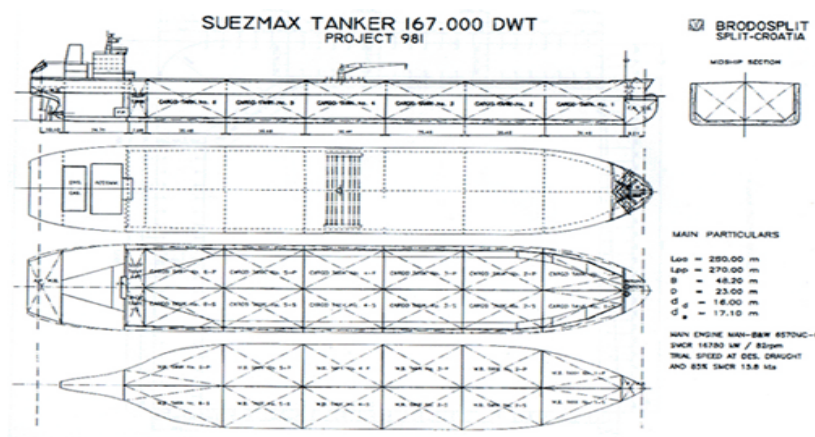
Παράλληλα η ενδεχόμενη κατασκευή του αγωγού πετρελαίου Μπουργκάς - Αλεξανδρούπολη είναι δεδομένο ότι θα θέσει σε κίνδυνο εκτεταμένης καταστροφής τις κοινωνίες και τα οικοσυστήματα του Αιγαίου. Με τη λειτουργία του αγωγού, πέραν του ότι θα πολλαπλασιαστεί ο αριθμός των δεξαμενόπλοιων που θα διαπλέουν

το Αιγαίο, θα προστεθεί επιπλέον ένας μεγάλος αριθμός δεξαμενόπλοιων, πρωτόγνωρης χωρητικότητας για την περιοχή, που θα μεταφέρει πολλαπλάσια ποσότητα πετρελαίου. Είναι ενδεικτικό πως σήμερα, λόγω των περιορισμών που τίθενται στα στενά των Δαρδανελίων, στο Αιγαίο κινούνται πετρελαιοφόρα (τύπου Aframax και Suezmax) με χωρητικότητα έως και 150.000 τόνους. Μετά την κατασκευή του αγωγού Μπουργκάς – Αλεξανδρούπολης, προγραμματίζεται να μπουν στο Αιγαίο και δεξαμενόπλοια (τύπου Cape Size και VLCC) χωρητικότητας 300.000 – 400.000 τόνων.

Στο πλαίσιο λοιπόν όλων των παραπάνω θα γίνει μία πιθανοθεωρητική προσέγγιση ενός ναυτικού ατυχήματος στην περιοχή του Αιγαίου. Το ατύχημα αφορά ένα πλοίο tanker Suezmax το οποίο διασχίζει το πέρασμα Εύβοιας-Άνδρου.

5.2 Δεδομένα μοντέλου Suezmax

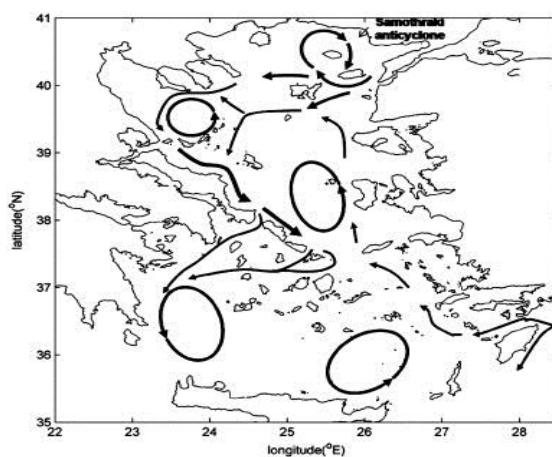
Θεωρούμε την διαδρομή από την Μαύρη Θάλασσα προς την Μεσόγειο η οποία είναι μία κλασική πορεία που ακολουθούν πλοία τύπου Suezmax. Κατά μήκος αυτής της διαδρομής και νοτιοανατολικά της Σκύρου θεωρούμε ότι έχουμε διαρροή σε μία δεξαμενή φορτίου του πλοίου. Η χωρητικότητα μίας τέτοιας δεξαμενής είναι περίπου 13.000 tn πετρελαίου. Θεωρούμε ότι διαρρέει όλη η ποσότητα πετρελαίου μέσα σε 24 ώρες από την στιγμή του ατυχήματος. Οι ακριβείς συντεταγμένες του σημείου της διαρροής είναι 25.00° E, 38.30° N. Από τον άτλαντα των καιρικών φαινομένων πήραμε τις μετρήσεις για την διεύθυνση και την ένταση του ανέμου που κατέγραψε ο μετεωρολογικός σταθμός, ο οποίος βρίσκεται στο σημείο 38.00° N, 25.50° E. Στον **Πίνακα 8** φαίνονται τα ιστογράμματα της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου σε ετήσια βάση. Τα κελιά με πράσινο χρώμα έχουν συχνότητα εμφάνισης 0,3%-0,4%, τα κίτρινα κελιά 0,5%-1%, ενώ τα καφέ κελιά 1%-2% και τα κόκκινα κελιά $>2\%$. Στην παρούσα διπλωματική θα εξετάσουμε τις περιπτώσεις με συχνότητα εμφάνισης μεγαλύτερη από 0,5%. Το άθροισμα των συχνοτήτων εμφάνισης αυτών των περιπτώσεων καλύπτει το **65,2%** του συνόλου των πιθανών καιρικών συνθηκών. Στο **Σχήμα 93** που ακολουθεί βλέπουμε μία τυπική διάταξη ενός tanker Suezmax.



Σχήμα 93. Τυπική διάταξη πλοίου tanker Suezmax.

Πίνακας 8. Ιστογράμματα ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου στην περιοχή της Σαντορίνης.

ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ-ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΑΝΕΜΟΥ (ΕΤΗΣΙΟ)																Total
LOCATION (38°N, 25.5°E)																
Θ_{wind} (deg)	U_w (m/s)															
	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	11	13	15	17	18	
0	1	2	3	4	7	8	11	12	14	12	16	6	2	0	0	98
15	1	2	5	8	9	11	14	16	21	21	35	16	7	1	1	168
30	1	2	4	6	5	5	6	6	6	6	11	5	2	1	0	66
45	1	4	4	3	2	2	3	2	2	1	1	0	0	0	0	25
60	1	2	2	2	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	10
75	0	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7
90	1	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
105	1	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
120	1	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
135	1	2	3	2	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	13
150	1	2	3	2	2	2	1	1	1	0	1	1	0	0	0	17
165	1	2	3	4	3	3	2	2	2	1	1	1	0	0	0	25
180	1	3	4	6	6	6	5	4	3	2	2	1	0	0	0	43
195	1	4	6	8	7	6	6	5	5	3	3	1	0	0	0	55
210	1	3	6	7	6	7	6	6	4	3	4	2	1	0	0	56
225	1	4	5	4	4	4	3	3	3	2	2	1	0	0	0	36
240	1	3	4	3	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	20
255	1	4	4	4	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	19
270	1	4	4	3	2	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	19
285	1	5	4	4	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	18
300	1	3	5	5	3	2	1	1	1	0	1	0	0	0	0	23
315	1	4	6	7	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	33
330	1	4	7	11	12	11	10	7	4	2	2	0	0	0	0	71
345	1	3	9	11	15	17	21	20	19	14	15	2	0	0	0	147
Total	23	70	97	109	99	97	98	92	91	68	96	36	12	2	1	991



Σχήμα 94. Προφίλ θαλασσιών ρευμάτων στην περιοχή του Αιγαίου.

Με βάση λοιπόν τον παραπάνω πίνακα κατασκευάσαμε 67 διαφορετικά σενάρια καιρού (**Πίνακας 9**), τα οποία έχουν το ίδιο προφίλ θαλασσιών ρευμάτων αλλά διαφορετικό άνεμο. Στο **Σχήμα 94** φαίνεται το προφίλ των θαλασσιών ρευμάτων που επικρατούν στην περιοχή του Αιγαίου.

Πίνακας 9. Σενάρια καιρού για το μοντέλο του Suezmax.

Σενάριο i	Θ_{wind} (deg)	U_w (m/s)	N_i	P_i	$P_i(\%)$
1	0	4.5	7	0.0071	0.71
2	0	5.5	8	0.0081	0.81
3	0	6.5	11	0.0111	1.11
4	0	7.5	12	0.0121	1.21
5	0	8.5	14	0.0141	1.41
6	0	9.5	12	0.0121	1.21
7	0	11	16	0.0161	1.61
8	0	13	6	0.0061	0.61
9	15	2.5	5	0.0050	0.50
10	15	3.5	8	0.0081	0.81
11	15	4.5	9	0.0091	0.91
12	15	5.5	11	0.0111	1.11
13	15	6.5	14	0.0141	1.41
14	15	7.5	16	0.0161	1.61
15	15	8.5	21	0.0212	2.12
16	15	9.5	21	0.0212	2.12
17	15	11	35	0.0353	3.53
18	15	13	16	0.0161	1.61
19	15	15	7	0.0071	0.71
20	30	3.5	6	0.0061	0.61
21	30	4.5	5	0.0050	0.50
22	30	5.5	5	0.0050	0.50
23	30	6.5	6	0.0061	0.61
24	30	7.5	6	0.0061	0.61
25	30	8.5	6	0.0061	0.61
26	30	9.5	6	0.0061	0.61
27	30	11	11	0.0111	1.11
28	30	13	5	0.0050	0.50
29	180	3.5	6	0.0061	0.61
30	180	4.5	6	0.0061	0.61
31	180	5.5	6	0.0061	0.61
32	180	6.5	5	0.0050	0.50
33	195	2.5	6	0.0061	0.61
34	195	3.5	8	0.0081	0.81
35	195	4.5	7	0.0071	0.71
36	195	5.5	6	0.0061	0.61

37	195	6.5	6	0.0061	0.61
38	195	7.5	5	0.0050	0.50
39	195	8.5	5	0.0050	0.50
40	210	2.5	6	0.0061	0.61
41	210	3.5	7	0.0071	0.71
42	210	4.5	6	0.0061	0.61
43	210	5.5	7	0.0071	0.71
44	210	6.5	6	0.0061	0.61
45	210	7.5	6	0.0061	0.61
46	225	2.5	5	0.0050	0.50
47	285	1.5	5	0.0050	0.50
48	300	2.5	5	0.0050	0.50
49	300	3.5	5	0.0050	0.50
50	315	2.5	6	0.0061	0.61
51	315	3.5	7	0.0071	0.71
52	315	4.5	5	0.0050	0.50
53	330	2.5	7	0.0071	0.71
54	330	3.5	11	0.0111	1.11
55	330	4.5	12	0.0121	1.21
56	330	5.5	11	0.0111	1.11
57	330	6.5	10	0.0101	1.01
58	330	7.5	7	0.0071	0.71
59	345	2.5	9	0.0091	0.91
60	345	3.5	11	0.0111	1.11
61	345	4.5	15	0.0151	1.51
62	345	5.5	17	0.0172	1.72
63	345	6.5	21	0.0212	2.12
64	345	7.5	20	0.0202	2.02
65	345	8.5	19	0.0192	1.92
66	345	9.5	14	0.0141	1.41
67	345	11	15	0.0151	1.51

Τα αποτελέσματα που θα πάρουμε σε συνδυασμό με την συχνότητα εμφάνισης του κάθε σεναρίου θα μας δώσουν το ρίσκο κάθε περιοχής που ενδέχεται να μολυνθεί με πετρέλαιο. Το προφίλ του πετρελαίου που θα χρησιμοποιηθεί στην προσομοίωση των σεναρίων είναι το *RUSSIAN CRUDE 2006-1067 5 DEG* το οποίο έχει τα εξής χαρακτηριστικά: s.g.= 0.895, API gravity = 26.6°API, pour point = -39°C. Η διάρκεια της προσομοίωσης των σεναρίων είναι 7 ημέρες, ενώ το βάθος της διαρροής είναι 10 μέτρα.

5.3 Αποτελέσματα σεναρίων του μοντέλου Suezmax

5.3.1 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα του μοντέλου Suezmax

Στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα όλων των σεναρίων. Εμφανίζονται οι περιοχές που πλήττονται ανά σενάριο, η ποσότητα του πετρελαίου που καταλήγει στην ακτή, η συχνότητα εμφάνισης του κάθε σεναρίου καθώς και η αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου στην ακτή ανά σενάριο.

Πίνακας 10. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σεναρίων για το μοντέλο του Suezmax.

Σενάριο i	Περιοχές	Ποσότητα (tn)	Συχνότητα (%)	Αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου (tn)	Συνολική ποσότητα πετρελαίου (tn)
1	Ψαρά	10.752	0.0071	0.076	741.054
	Αντίψαρα	29.9	0.0071	0.211	
	Χίος	700.402	0.0071	4.947	
2	Ψαρά	25.834	0.0081	0.209	124.360
	Αντίψαρα	53.748	0.0081	0.434	
	Χίος	44.778	0.0081	0.361	
3	Ψαρά	79.785	0.0111	0.886	249.868
	Αντίψαρα	132.72	0.0111	1.473	
	Χίος	37.363	0.0111	0.415	
4	Ψαρά	88.217	0.0121	1.068	1881.429
	Αντίψαρα	190.906	0.0121	2.312	
	Χίος	24.805	0.0121	0.300	
	Ικαρία	1565.301	0.0121	18.954	
	Άνδρο	1.603	0.0121	0.019	
	Τήνο	9.664	0.0121	0.117	
	Σύρο	0.933	0.0121	0.011	
5	Ψαρά	346.433	0.0141	4.894	728.233
	Αντίψαρα	164.235	0.0141	2.320	
	Χίος	44.683	0.0141	0.631	
	Ικαρία	64.668	0.0141	0.914	
	Άνδρο	2.643	0.0141	0.037	
	Τήνο	24.506	0.0141	0.346	
	Σύρο	4.987	0.0141	0.070	
	Ρηγεία	24.363	0.0141	0.344	
	Μύκονο	34.959	0.0141	0.494	
	Δονούσα	16.756	0.0141	0.237	
6	Ψαρά	318.734	0.0121	3.860	1952.122
	Αντίψαρα	190.834	0.0121	2.311	
	Χίος	13.575	0.0121	0.164	

	Ικαρία	64.668	0.0121	0.783	
	Άνδρο	6.088	0.0121	0.074	
	Τήνο	149.165	0.0121	1.806	
	Σύρο	37.445	0.0121	0.453	
	Ρηνεία	118.882	0.0121	1.440	
	Μύκονο	370.054	0.0121	4.481	
	Δονούσα	474.968	0.0121	5.751	
	Νάξο	16.756	0.0121	0.203	
	Πάρο	85.095	0.0121	1.030	
	Αμοργό	84.318	0.0121	1.021	
	Σίφνο	10.441	0.0121	0.126	
	Σέριφο	1.854	0.0121	0.022	
	Πολύαιγος	9.245	0.0121	0.112	
	Ψαρά	225.434	0.0161	3.640	
	Αντίπαρο	75.037	0.0161	1.211	
	Γυάρος	4.724	0.0161	0.076	
	Κέα	2.284	0.0161	0.037	
	Άνδρο	115.438	0.0161	1.864	
	Τήνο	1270.403	0.0161	20.511	
	Σύρο	247.488	0.0161	3.996	
	Ρηνεία	892.946	0.0161	14.417	
7	Μύκονο	905.671	0.0161	14.622	4522.853
	Κύθνος	59.549	0.0161	0.961	
	Αντίπαρο	73.267	0.0161	1.183	
	Πάρο	384.024	0.0161	6.200	
	Μήλος	38.75	0.0161	0.626	
	Σίφνο	107.652	0.0161	1.738	
	Σέριφο	31.395	0.0161	0.507	
	Πολύαιγος	78.087	0.0161	1.261	
	Κίμωλος	10.704	0.0161	0.173	
	Ψαρά	211.596	0.0061	1.281	
	Αντίπαρο	65.936	0.0061	0.399	
	Γυάρος	27.532	0.0061	0.167	
	Κέα	8.468	0.0061	0.051	
	Άνδρο	310.852	0.0061	1.882	
	Τήνο	1863.093	0.0061	11.280	
	Σύρο	307.193	0.0061	1.860	
	Ρηνεία	702.973	0.0061	4.256	
8	Μύκονο	2.201	0.0061	0.013	3738.602
	Κύθνος	51.93	0.0061	0.314	
	Αντίπαρο	23.406	0.0061	0.142	
	Πάρο	28.321	0.0061	0.171	
	Μήλος	26.037	0.0061	0.158	
	Σίφνο	43.57	0.0061	0.264	
	Σέριφο	35.665	0.0061	0.216	

	Πολύαιγος	16.218	0.0061	0.098	
	Κίμωλος	10.525	0.0061	0.064	
	Αντίμηλος	3.086	0.0061	0.019	
9	Ψαρά	1310.469	0.0050	6.612	2851.419
	Αντίψαρα	1540.95	0.0050	7.775	
10	Ψαρά	1789.706	0.0081	14.448	2788.629
	Αντίψαρα	998.923	0.0081	8.064	
11	Ψαρά	837.643	0.0091	7.607	871.562
	Αντίψαρα	33.919	0.0091	0.308	
12	Ψαρά	88.887	0.0111	0.987	132.063
	Αντίψαρα	43.176	0.0111	0.479	
13	Ψαρά	46.68	0.0141	0.659	4761.850
	Αντίψαρα	53.425	0.0141	0.755	
	Άνδρο	2.99	0.0141	0.042	
	Τήνο	1264.16	0.0141	17.859	
	Σύρο	27.4	0.0141	0.387	
	Μύκονο	11.661	0.0141	0.165	
	Ρηνεία	381.07	0.0141	5.383	
	Σέριφο	7.535	0.0141	0.106	
	Σίφνο	2109.182	0.0141	29.797	
	Πολύαιγος	718.102	0.0141	10.145	
	Κίμωλος	112.125	0.0141	1.584	
	Μήλος	22.868	0.0141	0.323	
14	Κύθνος	4.652	0.0141	0.066	5205.854
	Ψαρά	46.154	0.0161	0.745	
	Αντίψαρα	81.46	0.0161	1.315	
	Άνδρο	7.224	0.0161	0.117	
	Τήνο	1180.655	0.0161	19.062	
	Σύρο	23.561	0.0161	0.380	
	Κύθνος	6.602	0.0161	0.107	
	Ρηνεία	5.669	0.0161	0.092	
	Σέριφο	6.411	0.0161	0.104	
	Σίφνο	1956.835	0.0161	31.594	
	Πολύαιγος	1345.667	0.0161	21.726	
	Κίμωλος	122.997	0.0161	1.986	
Μήλος	422.619	0.0161	6.823		
15	Ψαρά	45.532	0.0212	0.965	5357.338
	Αντίψαρα	90.585	0.0212	1.920	
	Άνδρο	31.407	0.0212	0.666	
	Τήνο	1341.78	0.0212	28.433	
	Σύρο	350.607	0.0212	7.430	
	Κύθνος	27.233	0.0212	0.577	
	Μύκονο	4.377	0.0212	0.093	
	Σέριφο	46.178	0.0212	0.979	
	Σίφνο	1887.18	0.0212	39.991	
	Πολύαιγος	1151.521	0.0212	24.402	

	Κίμωλος	240.695	0.0212	5.100	
	Μήλος	133.605	0.0212	2.831	
	Γυάρος	2.105	0.0212	0.045	
	Κέα	2.918	0.0212	0.062	
	Αντίμηλος	1.615	0.0212	0.034	
16	Ψαρά	112.161	0.0212	2.377	5278.008
	Αντίψαρα	115.737	0.0212	2.453	
	Άνδρο	116.861	0.0212	2.476	
	Τήνο	1574.51	0.0212	33.365	
	Σύρο	545.4	0.0212	11.557	
	Κύθνος	72.765	0.0212	1.542	
	Μύκονο	7.499	0.0212	0.159	
	Σέριφο	97.402	0.0212	2.064	
	Σίφνο	830.443	0.0212	17.598	
	Πολύαιγος	138.461	0.0212	2.934	
	Κίμωλος	354.877	0.0212	7.520	
	Μήλος	1239.463	0.0212	26.265	
	Γυάρος	33.069	0.0212	0.701	
	Κέα	19.435	0.0212	0.412	
Αντίμηλος	19.925	0.0212	0.422		
17	Ψαρά	86.985	0.0353	3.072	4255.775
	Αντίψαρα	121.011	0.0353	4.274	
	Άνδρο	382.899	0.0353	13.523	
	Τήνο	1295.089	0.0353	45.740	
	Σύρο	401.772	0.0353	14.190	
	Κύθνος	116.263	0.0353	4.106	
	Μύκονο	4.27	0.0353	0.151	
	Σέριφο	148.723	0.0353	5.253	
	Σίφνο	449.828	0.0353	15.887	
	Πολύαιγος	90.717	0.0353	3.204	
	Κίμωλος	536.932	0.0353	18.963	
	Μήλος	490.886	0.0353	17.337	
	Γυάρος	43.678	0.0353	1.543	
	Κέα	22.066	0.0353	0.779	
	Αντίμηλος	18.287	0.0353	0.646	
	Σερφοπούλα	30.295	0.0353	1.070	
	Μακρονήσι	8.958	0.0353	0.316	
Σούνιο	7.116	0.0353	0.251		
18	Ψαρά	95.405	0.0161	1.540	3338.071
	Αντίψαρα	127.398	0.0161	2.057	
	Άνδρο	527.269	0.0161	8.513	
	Τήνο	1338.755	0.0161	21.615	
	Σύρο	624.862	0.0161	10.089	
	Κύθνος	161.651	0.0161	2.610	
	Μύκονο	5.25	0.0161	0.085	
	Σέριφο	133.402	0.0161	2.154	

	Σίφνο	77.058	0.0161	1.244	
	Ύδρα	4.353	0.0161	0.070	
	Κίμωλος	22.509	0.0161	0.363	
	Μήλος	110.618	0.0161	1.786	
	Γυάρος	63.304	0.0161	1.022	
	Κέα	22.999	0.0161	0.371	
	Αντίμηλος	2.38	0.0161	0.038	
	Σερφοπούλα	20.858	0.0161	0.337	
	Ψαρά	115.852	0.0071	0.818	
	Αντίψαρα	92.403	0.0071	0.653	
	Άνδρο	658.745	0.0071	4.653	
	Τήνο	479.285	0.0071	3.385	
	Σύρο	289.205	0.0071	2.043	
	Κύθνος	62.85	0.0071	0.444	
	Μύκονο	4.054	0.0071	0.029	
	Σέριφο	64.775	0.0071	0.458	
	Σίφνο	30.486	0.0071	0.215	
	Ύδρα	0.49	0.0071	0.003	
	Μακρονήσι	3.134	0.0071	0.022	
	Μήλος	40.76	0.0071	0.288	
	Γυάρος	27.998	0.0071	0.198	
	Κέα	30.02	0.0071	0.212	
19	Αντίμηλος	6.387	0.0071	0.045	1946.726
	Σερφοπούλα	22.784	0.0071	0.161	
	Άγιος Γεώργιος	10.238	0.0071	0.072	
	Σούνιο	2.99	0.0071	0.021	
	Ν.Α. Έυβοια	4.27	0.0071	0.030	
20	Ψαρά	1.196	0.0061	0.007	317.299
	Αντίψαρα	316.103	0.0061	1.914	
21	Ψαρά	17.832	0.0050	0.090	58.257
	Αντίψαρα	40.425	0.0050	0.204	
22	Ψαρά	9.112	0.0050	0.046	1693.187
	Αντίψαρα	22.03	0.0050	0.111	
	Τήνο	1662.045	0.0050	8.386	
23	Ψαρά	12.104	0.0061	0.073	4278.549
	Αντίψαρα	28.728	0.0061	0.174	
	Άνδρο	35.737	0.0061	0.216	
	Τήνο	1226.857	0.0061	7.428	
	Σύρο	896.188	0.0061	5.426	
	Μήλος	148.854	0.0061	0.901	
	Κύθνος	10.202	0.0061	0.062	
	Σέριφο	1530.904	0.0061	9.269	
	Γυάρος	2.153	0.0061	0.013	
	Σερφοπούλα	386.822	0.0061	2.342	

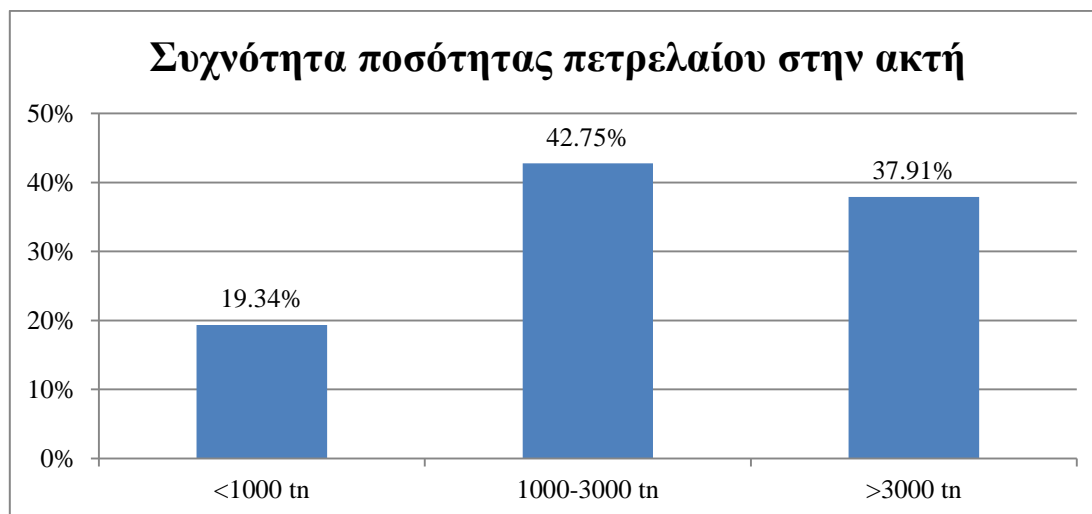
24	Ψαρά	24.793	0.0061	0.150	5178.871
	Αντίψαρα	42.063	0.0061	0.255	
	Άνδρο	77.608	0.0061	0.470	
	Τήνο	1232.992	0.0061	7.465	
	Σύρο	1335.155	0.0061	8.084	
	Μήλος	390.96	0.0061	2.367	
	Κύθνος	70.001	0.0061	0.424	
	Σέριφο	1757.367	0.0061	10.640	
	Γυάρος	10.585	0.0061	0.064	
	Σερφοπούλα	96.278	0.0061	0.583	
	Αντίμηλος	135.866	0.0061	0.823	
	Κέα	0.993	0.0061	0.006	
	Μύκονο	2.021	0.0061	0.012	
	Ρηγεία	2.189	0.0061	0.013	
25	Ψαρά	32.101	0.0061	0.194	4382.444
	Αντίψαρα	64.668	0.0061	0.392	
	Άνδρο	342.558	0.0061	2.074	
	Τήνο	1403.578	0.0061	8.498	
	Σύρο	145.326	0.0061	0.880	
	Αντίμηλος	671.387	0.0061	4.065	
	Κύθνος	227.24	0.0061	1.376	
	Σέριφο	1411.376	0.0061	8.545	
	Γυάρος	39.133	0.0061	0.237	
	Σερφοπούλα	16.971	0.0061	0.103	
	Μύκονο	2.284	0.0061	0.014	
	Κέα	25.822	0.0061	0.156	
26	Ψαρά	60.147	0.0061	0.364	4325.110
	Αντίψαρα	87.966	0.0061	0.533	
	Άνδρο	712.11	0.0061	4.311	
	Τήνο	1292.998	0.0061	7.828	
	Σύρο	36.909	0.0061	0.223	
	Μύκονο	2.189	0.0061	0.013	
	Κύθνος	352.844	0.0061	2.136	
	Σέριφο	1210.938	0.0061	7.332	
	Γυάρος	28.214	0.0061	0.171	
	Μακρονήσι	0.777	0.0061	0.005	
	Αντίμηλος	505.143	0.0061	3.058	
	Κέα	30.809	0.0061	0.187	
	Φαλκονέρα	4.066	0.0061	0.025	
27	Ψαρά	65.015	0.0111	0.722	3666.734
	Αντίψαρα	141.75	0.0111	1.573	
	Άνδρο	2217.169	0.0111	24.610	
	Τήνο	356.181	0.0111	3.954	
	Σύρο	28.226	0.0111	0.313	
	Φαλκονέρα	10.369	0.0111	0.115	
	Κύθνος	350.763	0.0111	3.893	

	Σέριφο	312.024	0.0111	3.463	
	Γυάρος	56.906	0.0111	0.632	
	Μακρονήσι	1.471	0.0111	0.016	
	Αντίμηλος	90.226	0.0111	1.001	
	Κέα	36.634	0.0111	0.407	
28	Ψαρά	123.092	0.0050	0.621	2025.414
	Αντίψαρα	156.664	0.0050	0.790	
	Τήνο	254.927	0.0050	1.286	
	Άνδρο	1256.661	0.0050	6.340	
	Σύρο	10.896	0.0050	0.055	
	Γυάρος	49.718	0.0050	0.251	
	Κύθνος	126.465	0.0050	0.638	
	Σέριφο	4.88	0.0050	0.025	
	Μακρονήσι	8.24	0.0050	0.042	
	Κέα	33.871	0.0050	0.171	
29	Ψαρά	301.38	0.0061	1.825	1172.176
	Αντίψαρα	870.796	0.0061	5.272	
30	Ψαρά	29.601	0.0061	0.179	359.243
	Αντίψαρα	329.642	0.0061	1.996	
31	Ψαρά	95.429	0.0061	0.578	366.862
	Αντίψαρα	267.426	0.0061	1.619	
	Χίος	4.007	0.0061	0.024	
32	Ψαρά	164.821	0.0050	0.832	281.813
	Αντίψαρα	112.34	0.0050	0.567	
	Χίος	4.652	0.0050	0.023	
33	Ψαρά	1497.751	0.0061	9.068	2477.634
	Αντίψαρα	979.883	0.0061	5.933	
34	Ψαρά	885.327	0.0081	7.147	1616.645
	Αντίψαρα	731.318	0.0081	5.904	
35	Ψαρά	670.238	0.0071	4.734	1490.335
	Αντίψαρα	820.097	0.0071	5.793	
36	Ψαρά	149.249	0.0061	0.904	1168.158
	Αντίψαρα	1016.66	0.0061	6.155	
	Χίος	2.249	0.0061	0.014	
37	Ψαρά	125.042	0.0061	0.757	753.325
	Αντίψαρα	603.621	0.0061	3.655	
	Χίος	24.662	0.0061	0.149	
38	Ψαρά	294.18	0.0050	1.484	609.458
	Αντίψαρα	295.902	0.0050	1.493	
	Χίος	17.737	0.0050	0.089	
	Μυτιλήνη	1.639	0.0050	0.008	
39	Αντίψαρα	351.146	0.0050	1.772	874.981
	Ψαρά	416.985	0.0050	2.104	
	Χίος	96.457	0.0050	0.487	
	Μυτιλήνη	10.393	0.0050	0.052	
40	Ψαρά	1516.815	0.0061	9.184	1516.815

41	Ψαρά	1043.151	0.0071	7.368	1131.189
	Αντίψαρα	88.038	0.0071	0.622	
42	Ψαρά	1631.715	0.0061	9.879	2338.623
	Αντίψαρα	706.908	0.0061	4.280	
43	Ψαρά	1295.591	0.0071	9.152	2076.364
	Αντίψαρα	771.42	0.0071	5.449	
	Χίος	9.353	0.0071	0.066	
44	Ψαρά	1347.067	0.0061	8.156	2454.670
	Αντίψαρα	1085.884	0.0061	6.574	
	Χίος	21.719	0.0061	0.131	
45	Ψαρά	460.819	0.0061	2.790	1080.371
	Αντίψαρα	584.27	0.0061	3.537	
	Χίος	35.282	0.0061	0.214	
46	Ψαρά	2090.775	0.0050	10.549	2090.775
47	Ψαρά	1058.065	0.0050	5.338	1058.065
48	Χίος	4462.168	0.0050	22.513	4462.168
49	Χίος	3903.828	0.0050	19.696	3903.828
50	Χίος	4903.301	0.0061	29.687	4903.301
51	Ψαρά	5.227	0.0071	0.037	2135.446
	Αντίψαρα	4.389	0.0071	0.031	
	Χίος	2125.83	0.0071	15.016	
52	Ψαρά	4.581	0.0050	0.023	2768.011
	Αντίψαρα	1.531	0.0050	0.008	
	Χίος	2761.899	0.0050	13.935	
53	Ψαρά	4.963	0.0071	0.035	3185.833
	Χίος	3180.87	0.0071	22.468	
54	Χίος	2463.736	0.0111	27.347	2463.736
55	Ψαρά	11.159	0.0121	0.135	3589.065
	Αντίψαρα	2.942	0.0121	0.036	
	Χίος	3574.964	0.0121	43.289	
56	Ψαρά	66.844	0.0111	0.742	4417.868
	Αντίψαρα	28.441	0.0111	0.316	
	Χίος	4322.583	0.0111	47.980	
57	Ψαρά	78.876	0.0101	0.796	2820.754
	Αντίψαρα	25.032	0.0101	0.253	
	Χίος	2716.846	0.0101	27.415	
58	Ψαρά	154.404	0.0071	1.091	1842.893
	Αντίψαρα	54.406	0.0071	0.384	
	Χίος	1618.2	0.0071	11.430	
	Τήνο	15.883	0.0071	0.112	
59	Χίος	2568.422	0.0091	23.326	2574.235
	Ψαρά	5.813	0.0091	0.053	
60	Χίος	1986.078	0.0111	22.045	1996.830
	Ψαρά	6.817	0.0111	0.076	
	Αντίψαρα	3.935	0.0111	0.044	
61	Χίος	2066.03	0.0151	31.272	2080.741

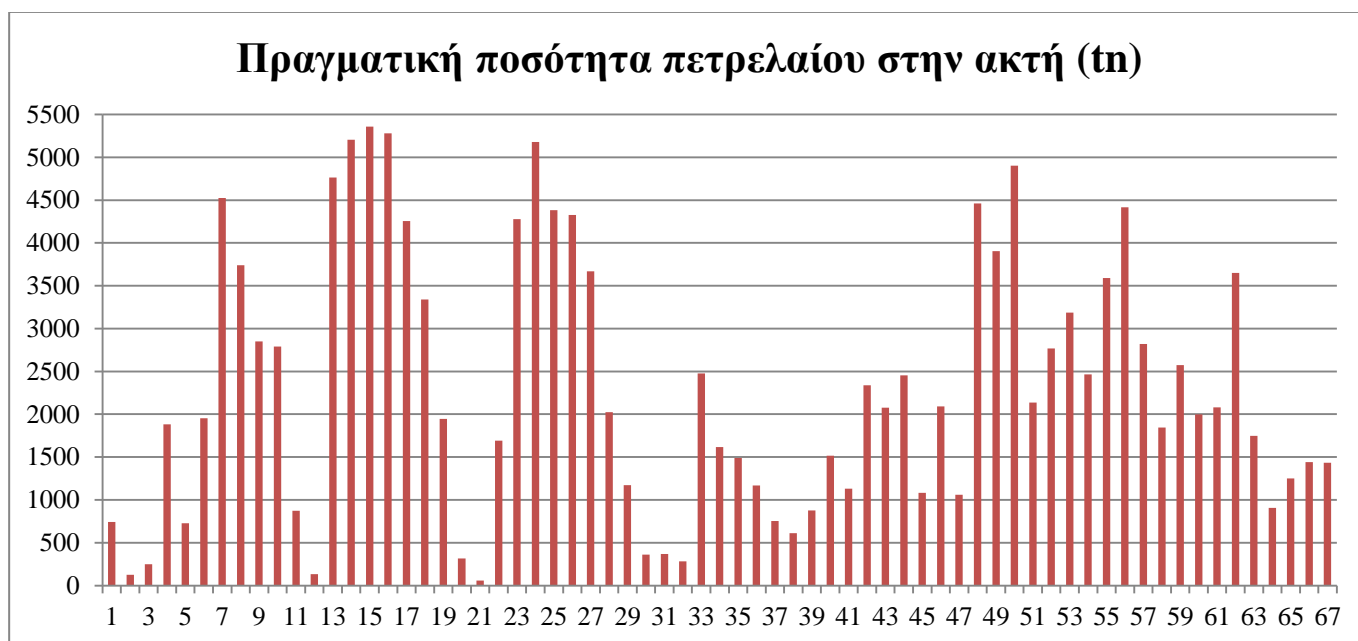
	Ψαρά	12.08	0.0151	0.183	
	Αντίψαρα	2.631	0.0151	0.040	
62	Χίος	3583.228	0.0172	61.468	3648.111
	Ψαρά	49.658	0.0172	0.852	
	Αντίψαρα	15.225	0.0172	0.261	
63	Χίος	1551.009	0.0212	32.867	1746.531
	Ψαρά	108.226	0.0212	2.293	
	Αντίψαρα	87.296	0.0212	1.850	
64	Χίος	627.446	0.0202	12.663	907.058
	Ψαρά	183.167	0.0202	3.697	
	Αντίψαρα	86.208	0.0202	1.740	
	Τήνο	2.87	0.0202	0.058	
	Μύκονο	4.461	0.0202	0.090	
	Ρηνεία	2.906	0.0202	0.059	
65	Χίος	176.793	0.0192	3.390	1251.698
	Ψαρά	296.895	0.0192	5.692	
	Αντίψαρα	70.193	0.0192	1.346	
	Τήνο	32.077	0.0192	0.615	
	Σύρο	6.865	0.0192	0.132	
	Ρηνεία	4.485	0.0192	0.086	
	Ικαρία	664.39	0.0192	12.738	
66	Χίος	199.517	0.0141	2.819	1439.291
	Ψαρά	427.905	0.0141	6.045	
	Αντίψαρα	169.796	0.0141	2.399	
	Τήνο	41.095	0.0141	0.581	
	Σύρο	7.415	0.0141	0.105	
	Ρηνεία	9.472	0.0141	0.134	
	Ικαρία	566.689	0.0141	8.006	
	Κύθνος	2.308	0.0141	0.033	
	Γυάρος	1.196	0.0141	0.017	
Άνδρο	13.898	0.0141	0.196		
67	Χίος	88.205	0.0151	1.335	1435.211
	Ψαρά	512.163	0.0151	7.752	
	Αντίψαρα	148.794	0.0151	2.252	
	Τήνο	155.624	0.0151	2.356	
	Σύρο	36.681	0.0151	0.555	
	Ρηνεία	42.901	0.0151	0.649	
	Ικαρία	388.269	0.0151	5.877	
	Κύθνος	4.019	0.0151	0.061	
	Γυάρος	1.196	0.0151	0.018	
	Άνδρο	35.473	0.0151	0.537	
	Μύκονο	6.757	0.0151	0.102	
	Δονούσα	1.459	0.0151	0.022	
	Αμοργό	10.082	0.0151	0.153	
Σέριφο	3.588	0.0151	0.054		

Στο **Σχήμα 95** που ακολουθεί βλέπουμε την συχνότητα να καταλήξουν στην ακτή διάφορες ποσότητες πετρελαίου. Οι συχνότητες που εμφανίζονται στο γράφημα αφορούν το σύνολο των περιπτώσεων που μελετήσαμε.



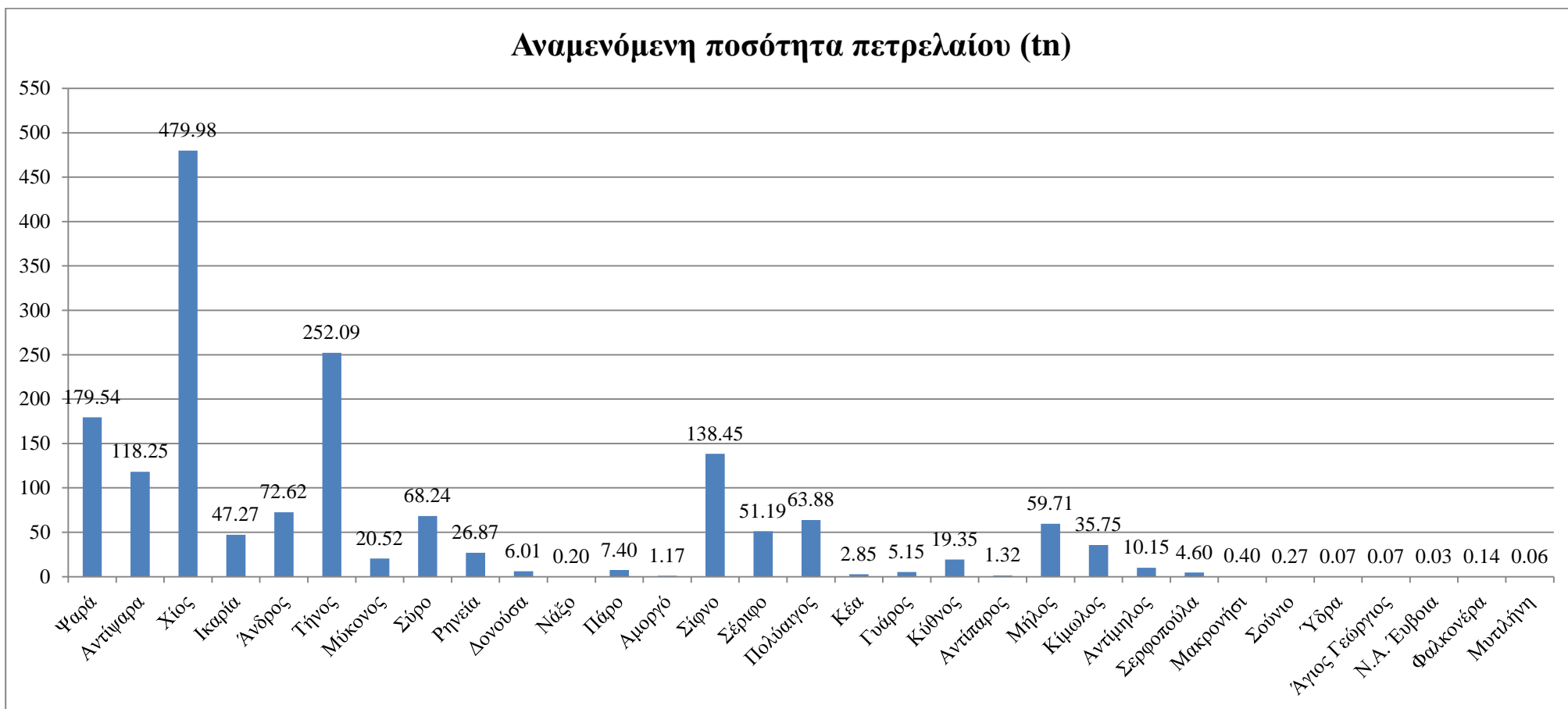
Σχήμα 95. Συχνότητα διαφόρων ποσοτήτων πετρελαίου στην ακτή.

Στο **Σχήμα 96** φαίνεται η ποσότητα πετρελαίου που καταλήγει στην ακτή σε κάθε σενάριο. Από το σχήμα βλέπουμε ότι το σενάριο στο οποίο καταλήγει η περισσότερη ποσότητα πετρελαίου στην ακτή είναι το σενάριο 15 με 5357 tn πετρελαίου. Στο **Σχήμα 97** βλέπουμε την αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου σε κάθε περιοχή. Από το γράφημα φαίνεται ότι η πιο επικίνδυνη περιοχή είναι η Χίος στην οποία θα καταλήξουν σχεδόν 480 tn πετρελαίου. Περιοχές που κινδυνεύουν να «χτυπηθούν» από μεγάλη ποσότητα πετρελαίου είναι τα Ψαρά, τα Αντίπαρα, η Τήνος και η Σίφος.

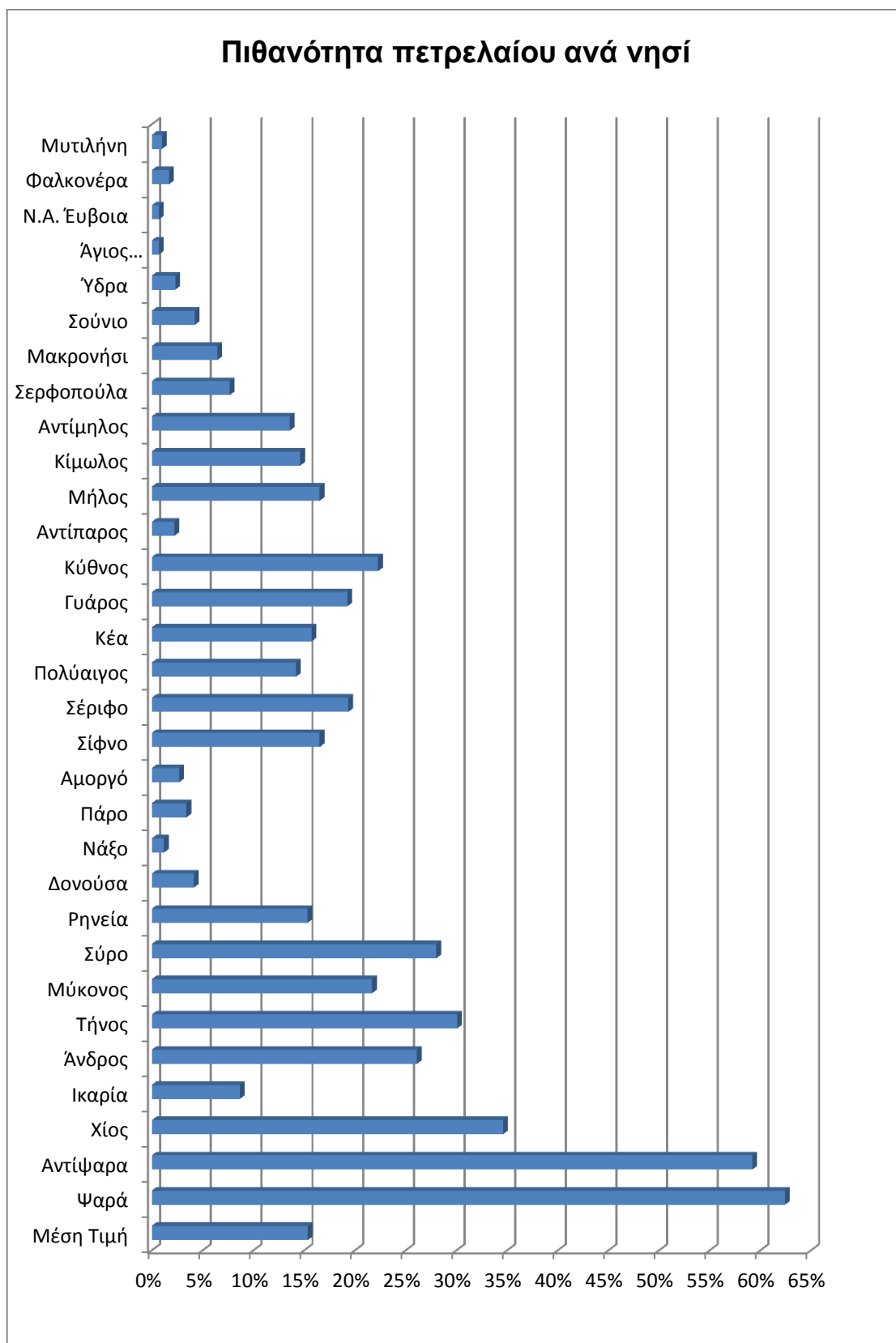


Σχήμα 96. Ποσότητα πετρελαίου στην ακτή ανά σενάριο.

Αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου (tn)



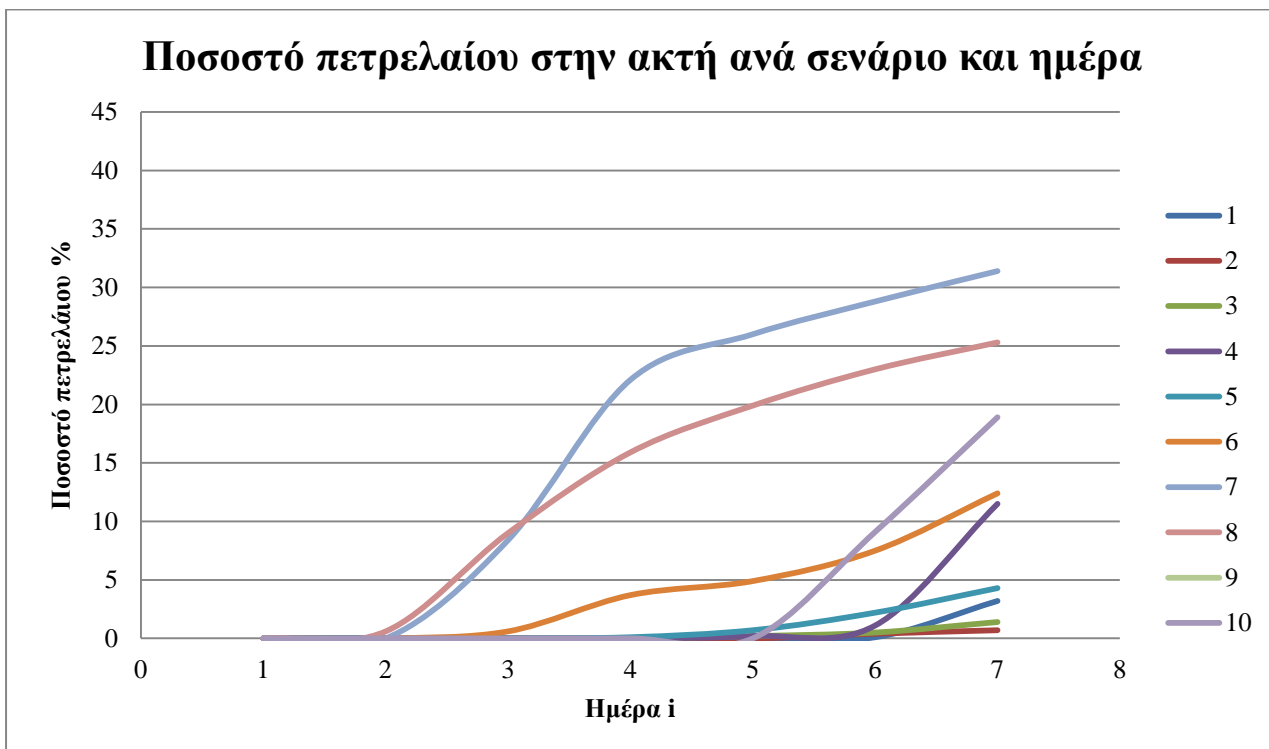
Σχήμα 97. Αναμενόμενη ποσότητα πετρελαίου ανά περιοχή.



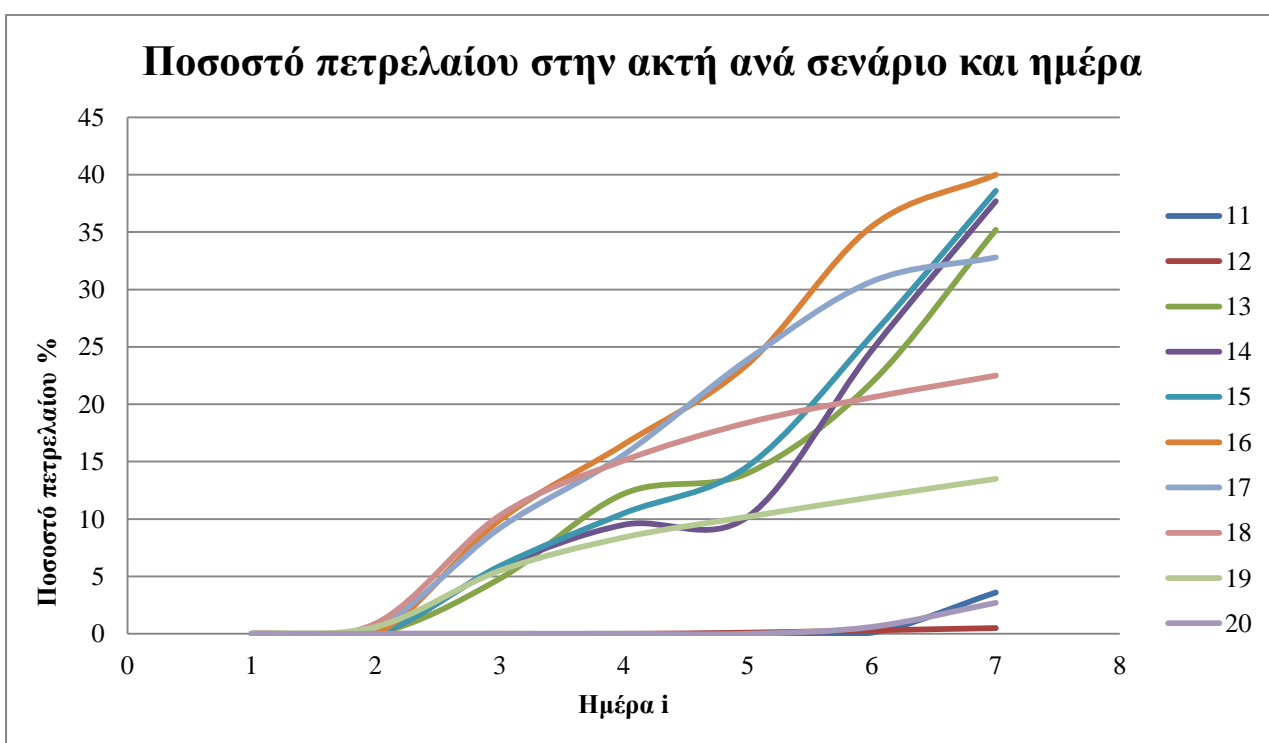
Σχήμα 98. Συχνότητα να καταλήξει πετρέλαιο στις διάφορες περιοχές.

Στο παραπάνω γράφημα, **Σχήμα 98**, φαίνεται η συχνότητα να καταλήξει πετρέλαιο σε διάφορες περιοχές. Παρατηρούμε ότι σχεδόν σε όλα τα σενάρια που τρέξαμε καταλήγει πετρέλαιο στα Ψαρά και στα Αντίψαρα, ενώ αρκετά επικίνδυνες περιοχές

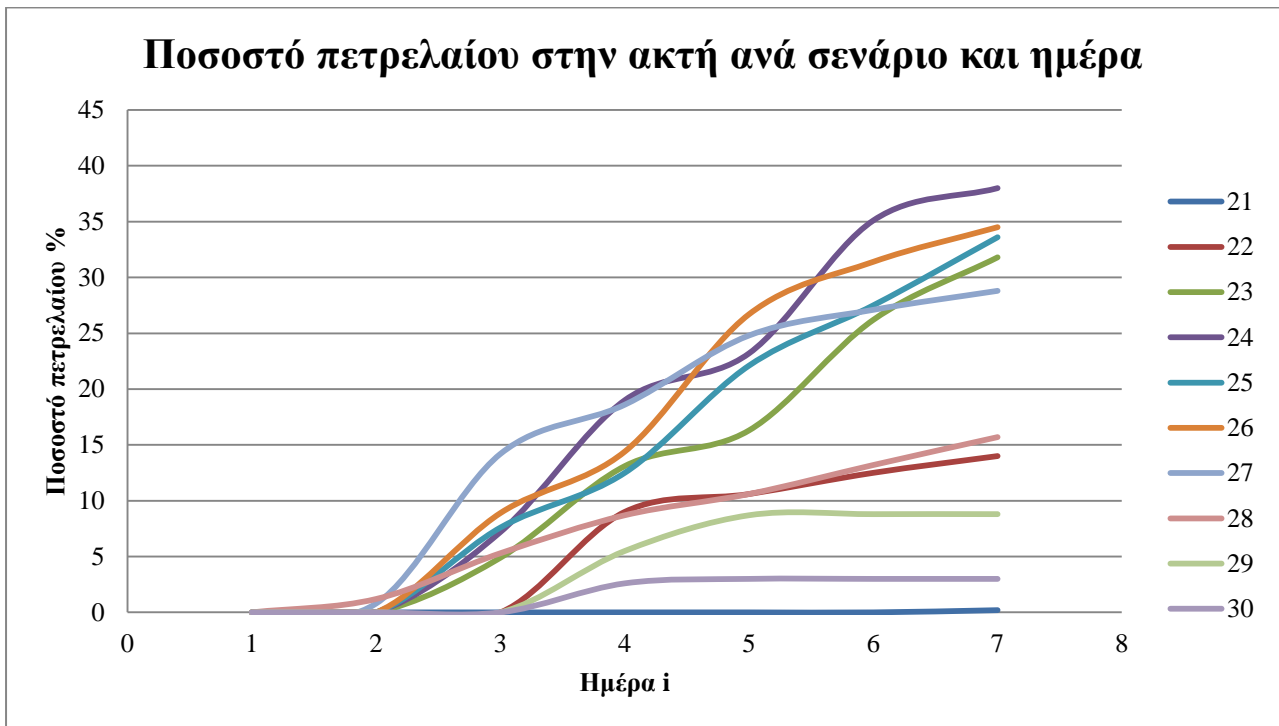
είναι τα νησιά των Κυκλάδων. Αυτό οφείλεται στα θαλάσσια ρεύματα που επικρατούν στην περιοχή του ατυχήματος, τα οποία κατευθύνονται νοτιοδυτικά, ενώ παρατηρείται και μία μικρή ανακυκλοφορία στην περιοχή, η οποία ευθύνεται για το πετρέλαιο που καταλήγει στα Ψαρά και στα Αντίψαρα. Στα παρακάτω γραφήματα, **Σχήμα 99**, **Σχήμα 100**, **Σχήμα 101**, **Σχήμα 102**, **Σχήμα 103**, **Σχήμα 104**, **Σχήμα 105**, παρουσιάζεται το ποσοστό πετρελαίου στην ακτή σε συνάρτηση με την ημέρα της προσομοίωσης.



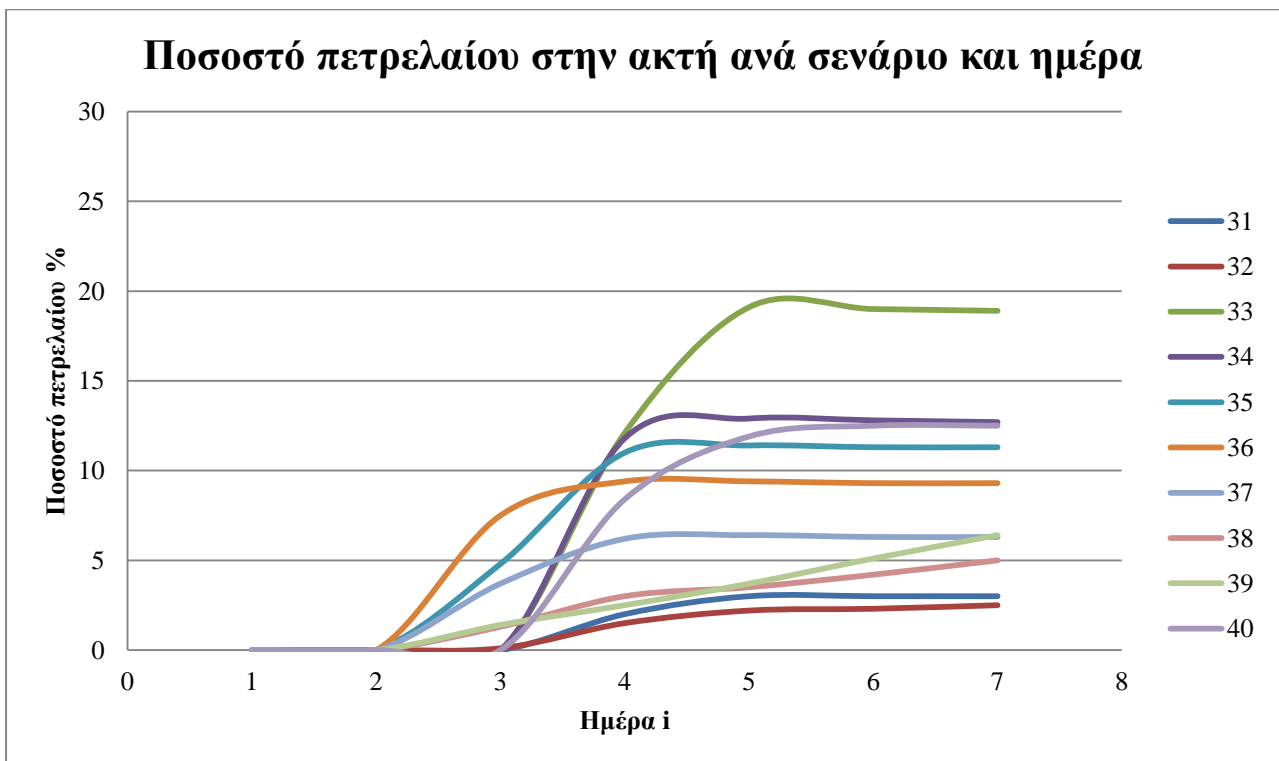
Σχήμα 99. Ποσοστό πετρελαίου στην ακτή ανά ημέρα για τα σενάρια 1 έως 10.



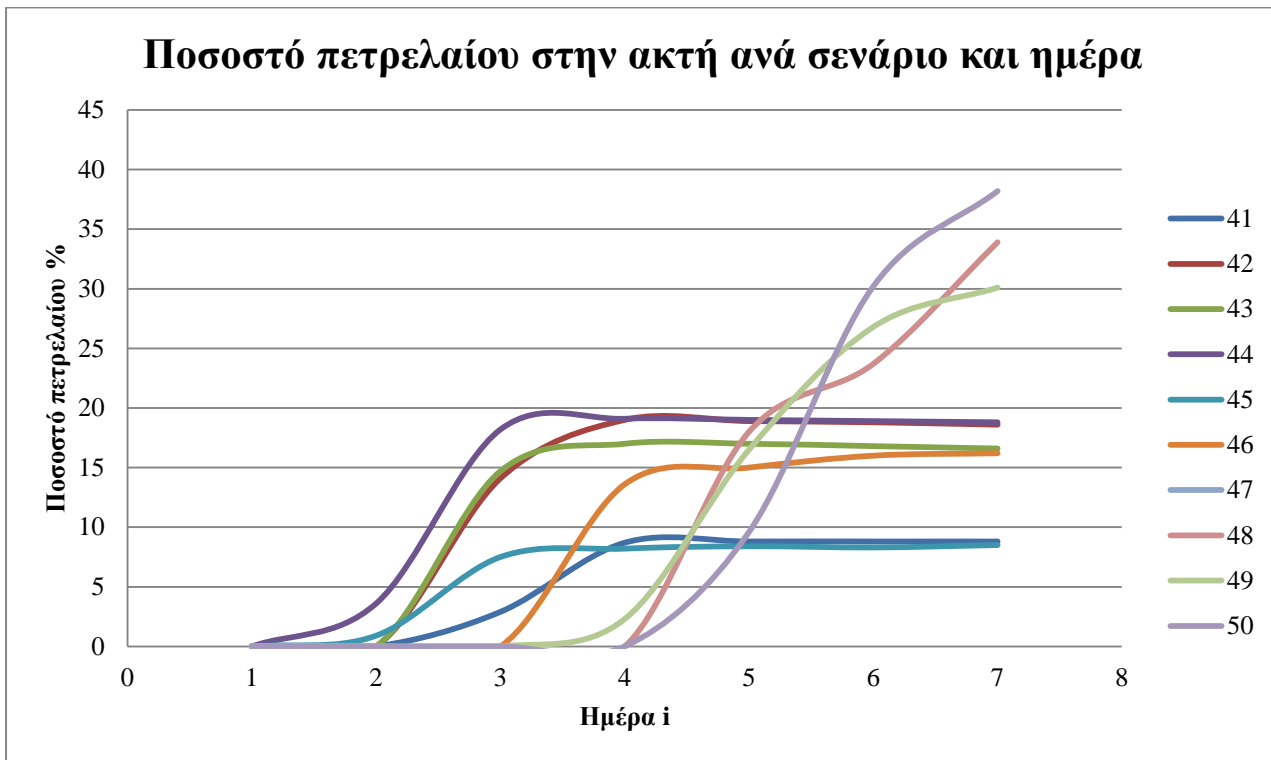
Σχήμα 100. Ποσοστό πετρελαίου στην ακτή ανά ημέρα για τα σενάρια 11 έως 20.



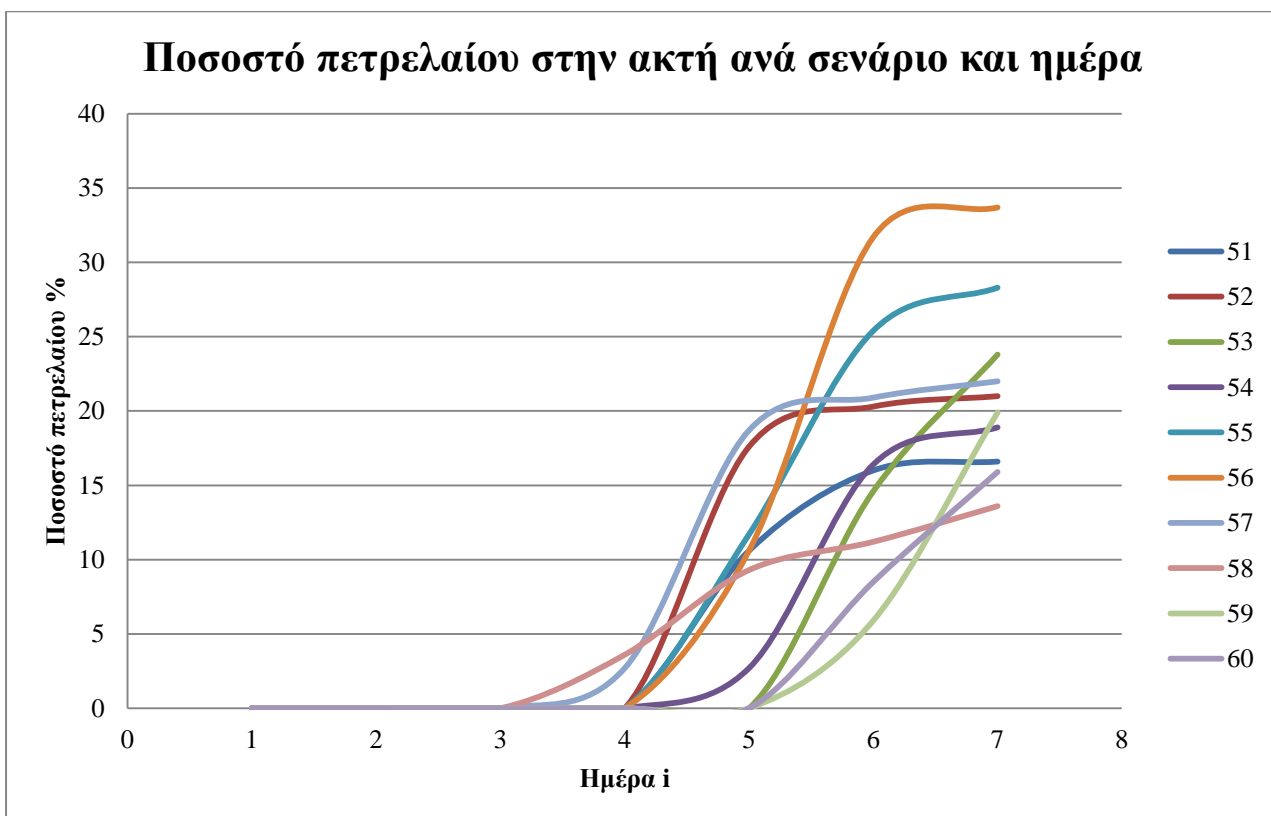
Σχήμα 101. Ποσοστό πετρελαίου στην ακτή ανά ημέρα για τα σενάρια 21 έως 30.



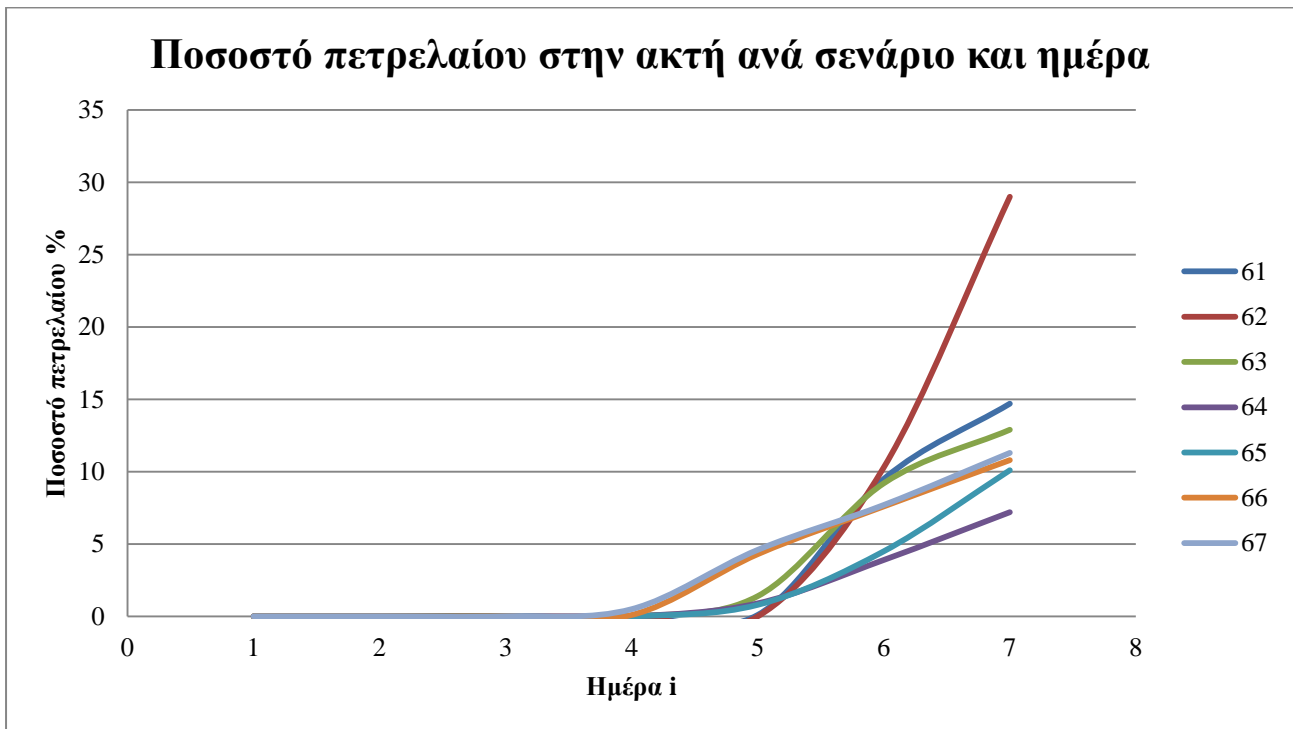
Σχήμα 102. Ποσοστό πετρελαίου στην ακτή ανά ημέρα για τα σενάρια 31 έως 40.



Σχήμα 103. Ποσοστό πετρελαίου στην ακτή ανά ημέρα για τα σενάρια 41 έως 50.

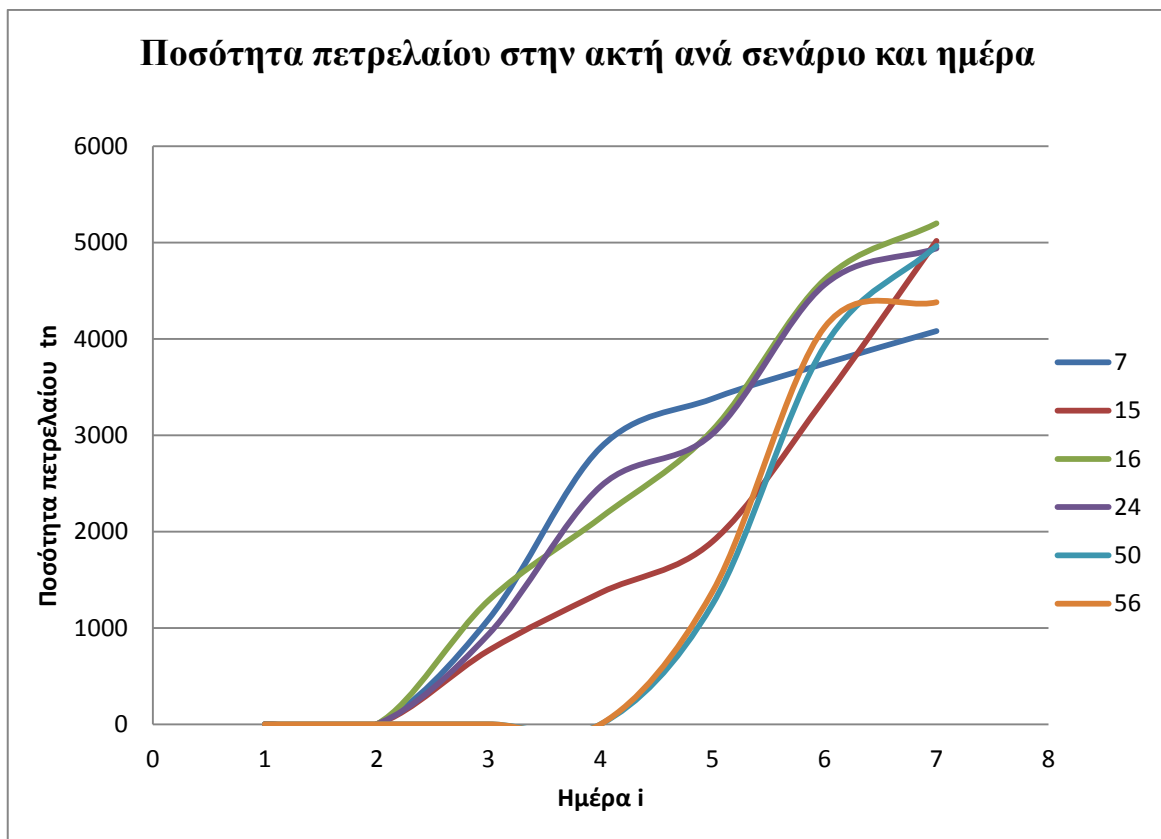


Σχήμα 104. Ποσοστό πετρελαίου στην ακτή ανά ημέρα για τα σενάρια 51 έως 60.



Σχήμα 105. Ποσοστό πετρελαίου στην ακτή ανά ημέρα για τα σενάρια 61 έως 67.

Στην συνέχεια στο **Σχήμα 106** παρουσιάζονται οι κατανομές της ποσότητας του πετρελαίου στην ακτή ανά ημέρα για 6 τυχαία σενάρια.

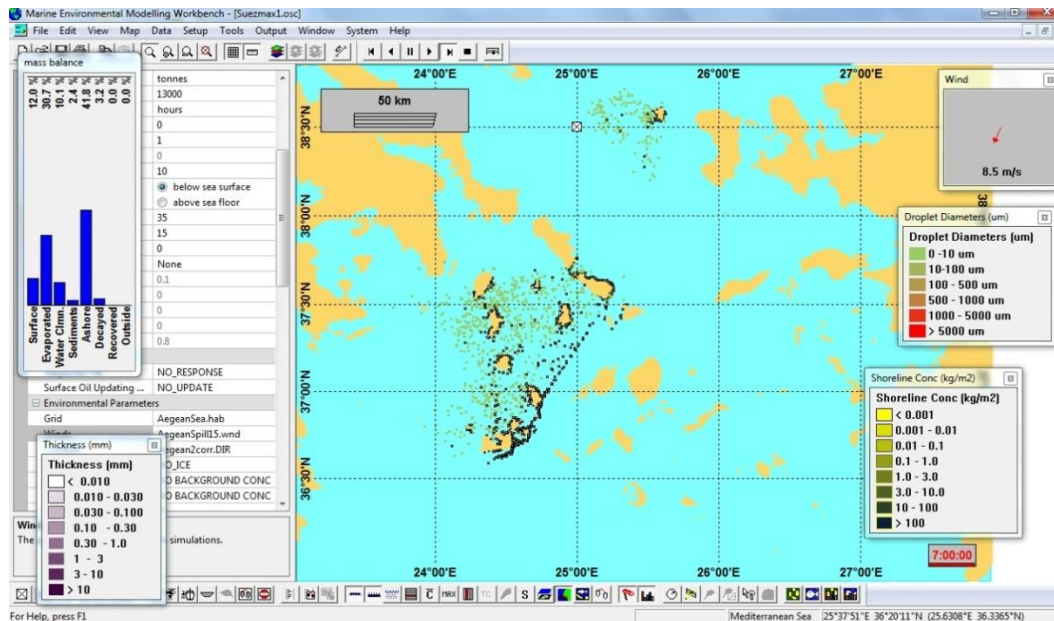


Σχήμα 106. Κατανομή ποσότητας πετρελαίου στην ακτή ανά ημέρα.

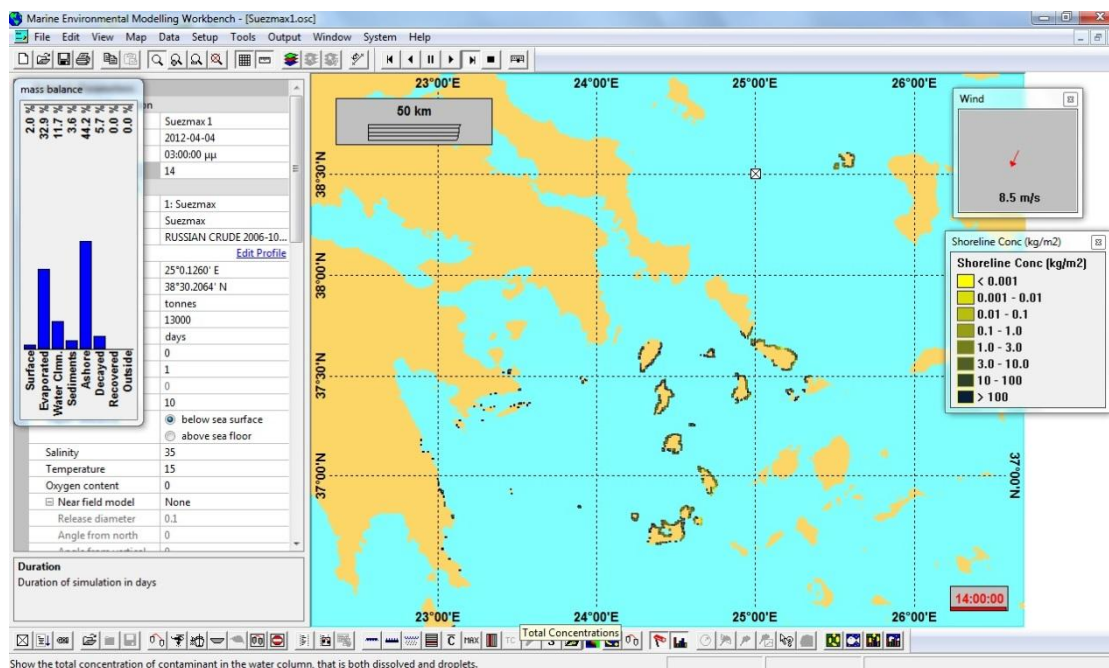
5.3.2. Παρουσίαση και σύγκριση αποτελεσμάτων τεσσάρων δυσμενών σεναρίων

Επιλέξαμε τα σενάρια 15, 50, 56, 66 στα οποία μεγάλη ποσότητα πετρελαίου καταλήγει στην ακτή και τα οποία μολύνουν διαφορετικές περιοχές μεταξύ τις. Τα σενάρια αυτά τα τρέξαμε με διάρκεια προσομοίωσης 7, 14 και 21 ημέρες και συγκρίναμε την ποσότητα πετρελαίου που καταλήγει στην ακτή ανάλογα με την διάρκεια τις προσομοίωσης.

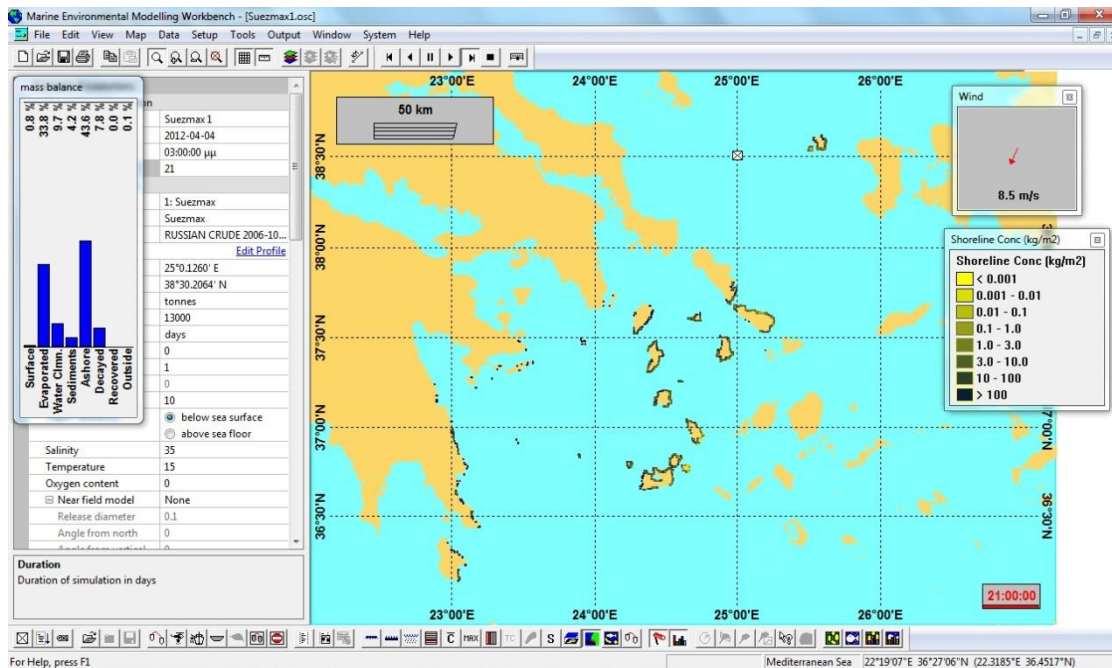
Σενάριο 15:



Σχήμα 107. Σενάριο 15-Κατάληξη πετρελαίου μετά από 7 ημέρες.

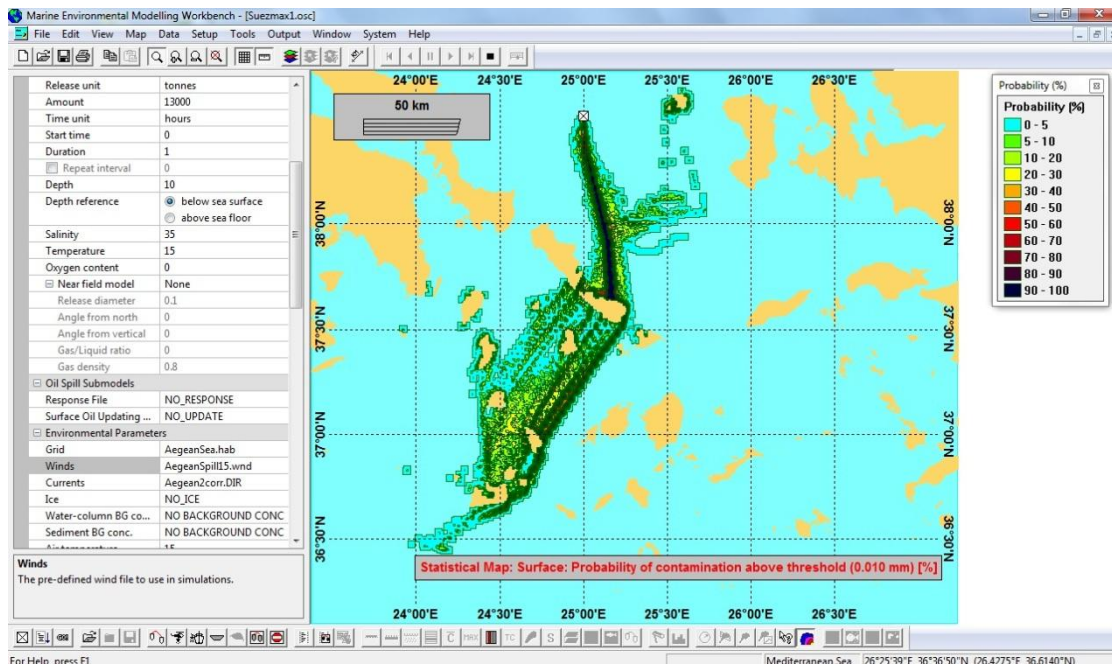


Σχήμα 108. Σενάριο 15-Κατάληξη πετρελαίου μετά από 14 ημέρες.



Σχήμα 109. Σενάριο 15-Κατάληξη πετρελαίου μετά από 21 ημέρες.

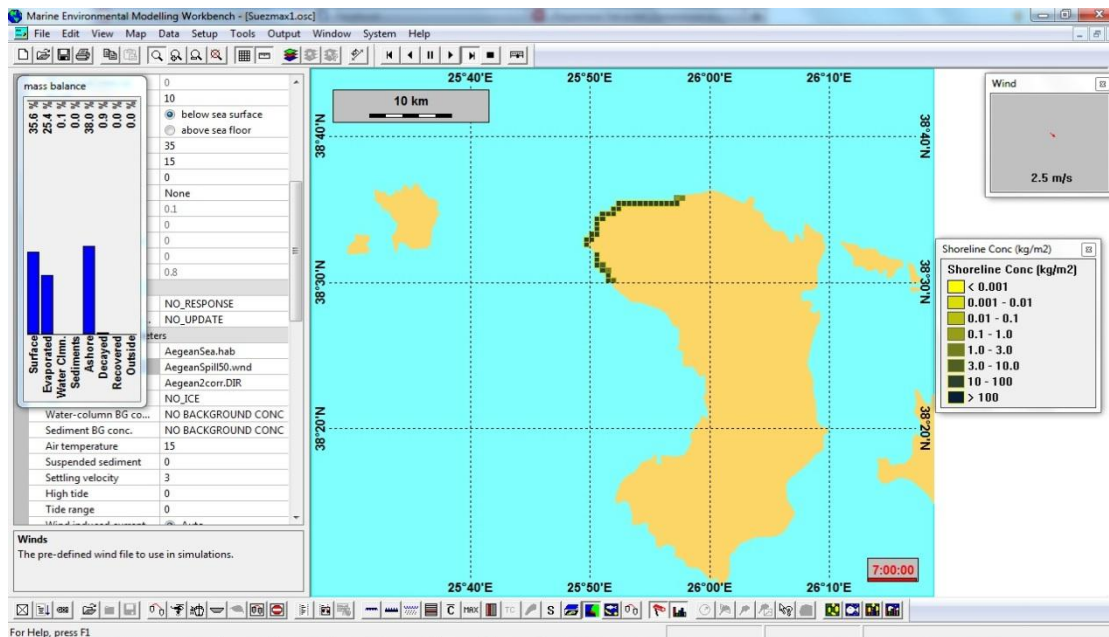
Στα Σχήματα 107, 108 και 109 φαίνονται οι περιοχές στις οποίες καταλήγει το πετρέλαιο μετά από 7, 14 και 21 ημέρες αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι όσο μεγαλώνει η διάρκεια της προσομοίωσης ελαττώνεται το ποσοστό του επιφανειακού πετρελαίου, ενώ παρατηρείται μικρή αύξηση στο πετρέλαιο που καταλήγει στην ακτή. Στις πρώτες 7 ημέρες μετά το ατύχημα το πετρέλαιο αναμένεται να φτάσει μέχρι την Μήλο, ενώ μετά από 21 ημέρες θα έχει πλήξει τις ακτές των Κυθήρων και του νοτιοανατολικού άκρου της Πελοποννήσου. Στην συνέχεια στο Σχήμα 110 παρουσιάζεται γραφικά η κατεύθυνση του επιφανειακού πετρελαίου τις πρώτες 7 ημέρες.



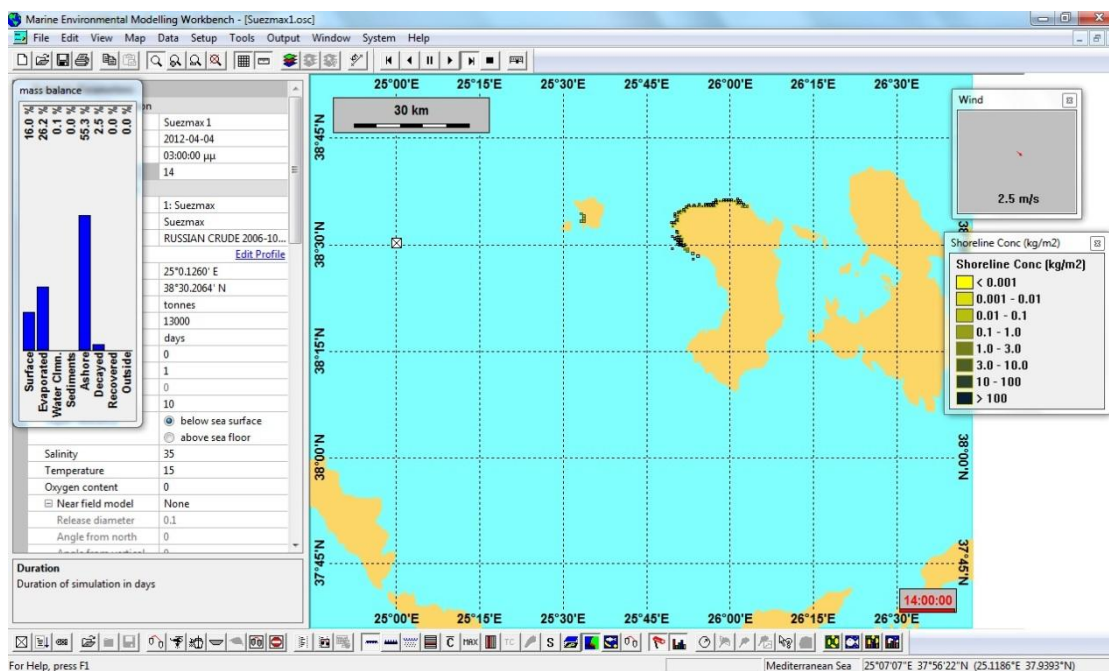
Σχήμα 110. Σενάριο 15-Κατεύθυνση επιφανειακού πετρελαίου τις πρώτες 7 ημέρες.

Σενάριο 50:

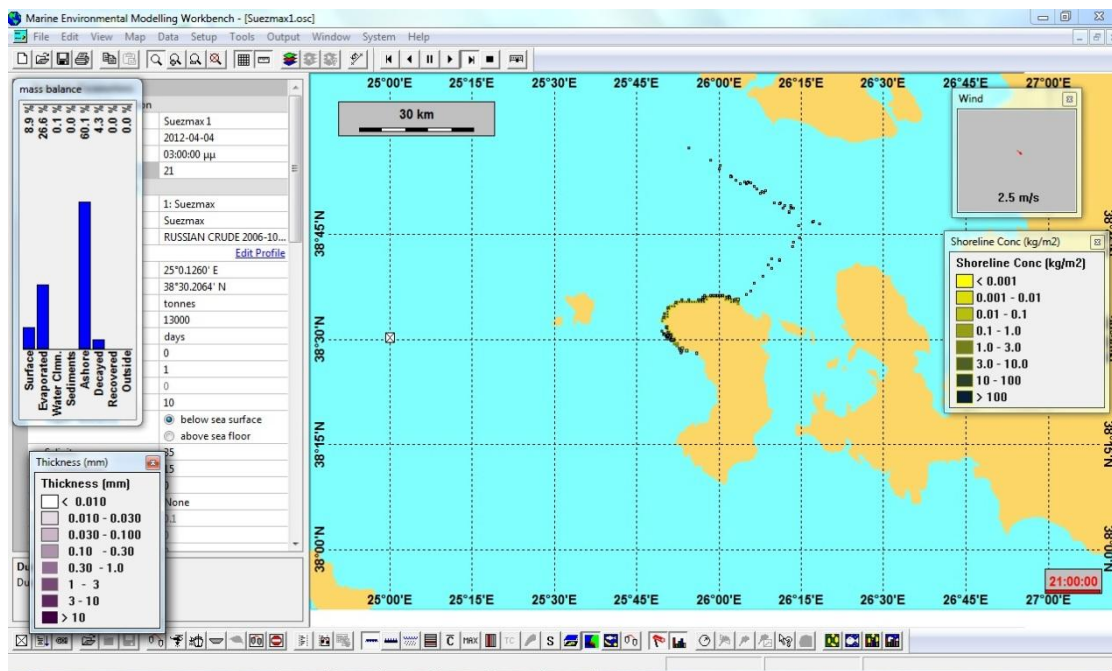
Στα Σχήματα 111, 112 και 113 φαίνονται οι περιοχές τις οποίες καταλήγει το πετρέλαιο μετά από 7, 14 και 21 ημέρες αντίστοιχα. Και στις τρεις περιπτώσεις παρατηρούμε ότι το πετρέλαιο καταλήγει στην Χίο με μόνη διαφορά την σημαντική αύξηση του ποσοστού. Τις πρώτες 7 ημέρες στην ακτή έχει φτάσει το 38% του πετρελαίου που έχει διαρρεύσει στην θάλασσα, ενώ μετά από 21 ημέρες το ποσοστό αυτό έχει ανέρθει στο 60%. Παράλληλα το επιφανειακό πετρέλαιο, το οποίο έχει μειωθεί από 36% σε 9%, βλέπουμε ότι κατευθύνεται βορειοδυτικά της Χίου μεταξύ Τουρκίας και Μυτιλήνης. Τέλος στο Σχήμα 114 παρουσιάζεται γραφικά η κατεύθυνση του επιφανειακού πετρελαίου τις πρώτες 7 ημέρες.



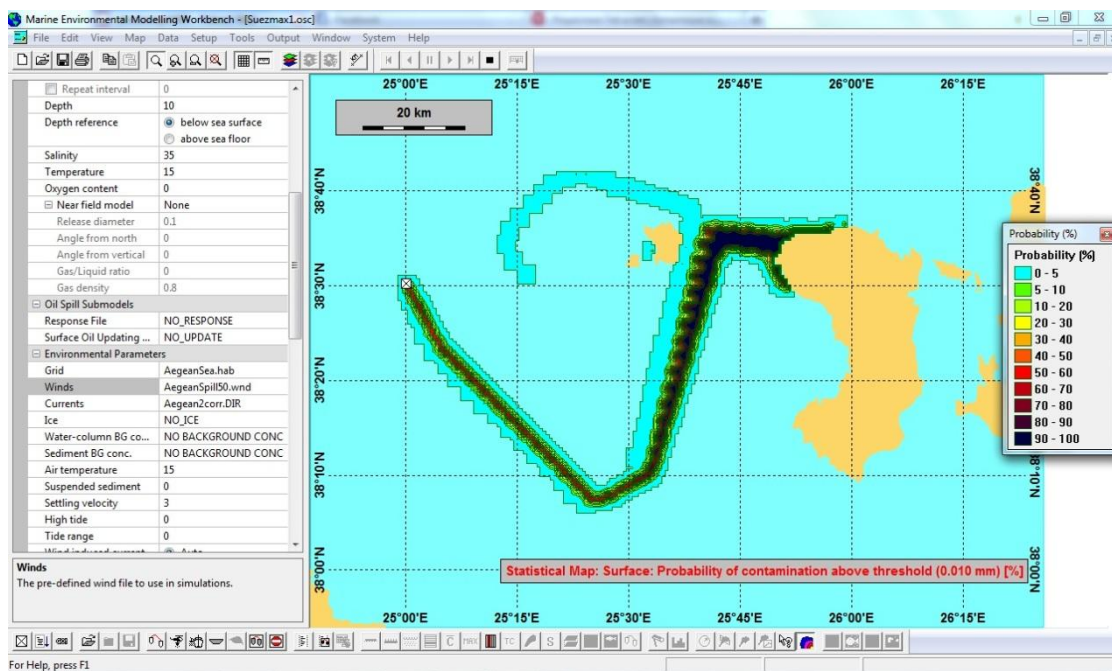
Σχήμα 111. Σενάριο 50-Κατάληξη πετρελαίου μετά από 7 ημέρες.



Σχήμα 112. Σενάριο 50-Κατάληξη πετρελαίου μετά από 14 ημέρες.



Σχήμα 113. Σενάριο 50-Κατάληξη πετρελαίου μετά από 21 ημέρες.

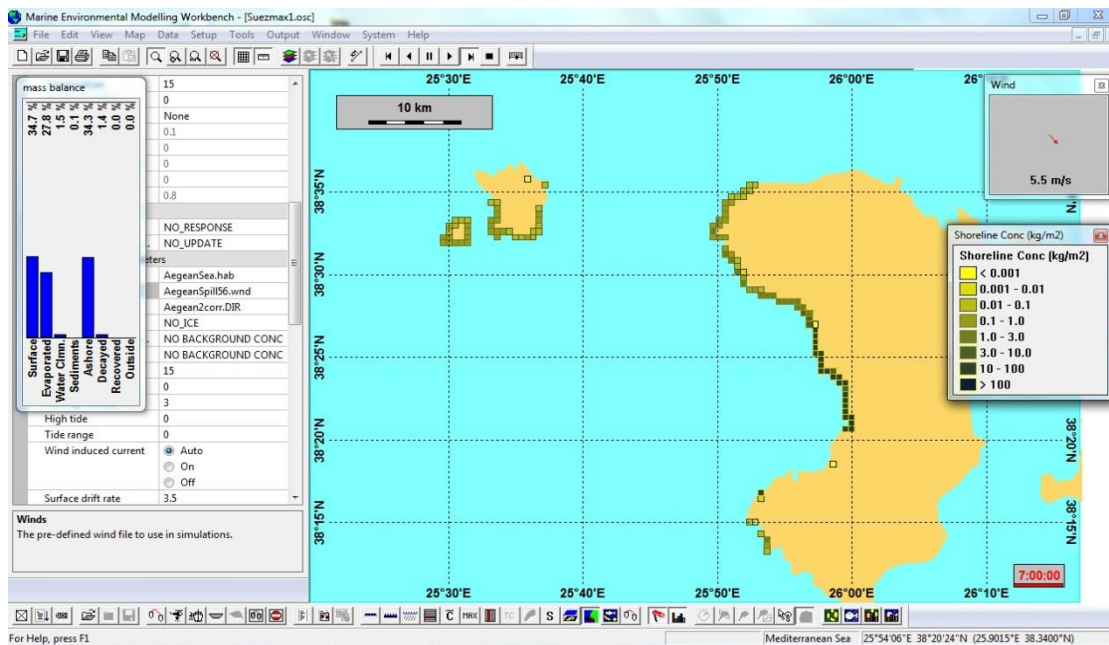


Σχήμα 114. Σενάριο 50-Κατεύθυνση επιφανειακού πετρελαίου τις πρώτες 7 ημέρες.

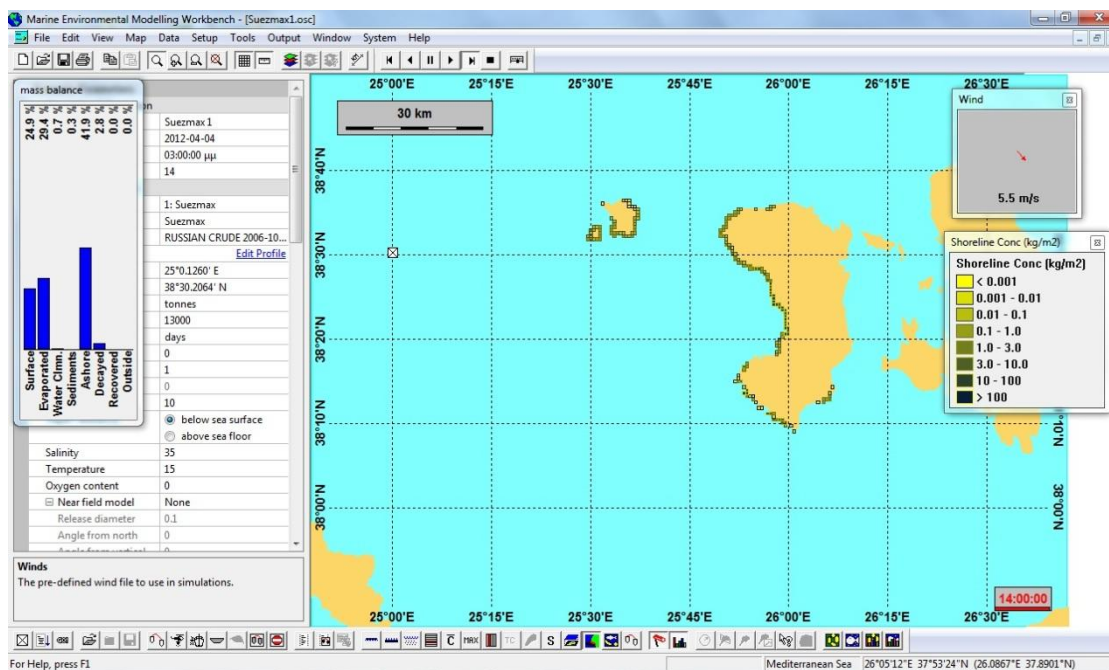
Σενάριο 56:

Στα Σχήματα 115, 116 και 117 φαίνονται οι περιοχές τις οποίες καταλήγει το πετρέλαιο μετά από 7, 14 και 21 ημέρες αντίστοιχα. Και τις τρεις περιπτώσεις παρατηρούμε ότι το πετρέλαιο καταλήγει στην Χίο, στα Ψαρά και στα Αντίψαρα. Τις μετά από 21 ημέρες έχουν πληγεί σχεδόν όλες οι ακτές της Χίου, ενώ το πετρέλαιο έχει φτάσει στις Οινούσες και στα παράλια της Τουρκίας. Τις πρώτες 7 ημέρες στην ακτή έχει φτάσει το 34,3% του πετρελαίου που έχει διαρρεύσει στην θάλασσα, ενώ μετά από 21 ημέρες το ποσοστό αυτό

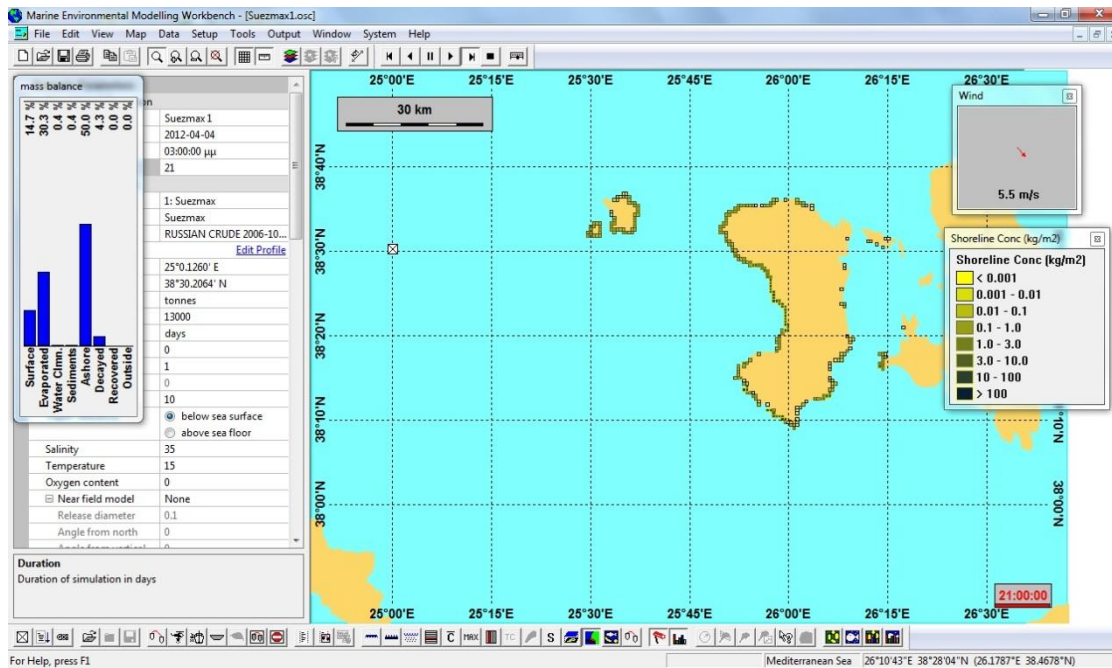
έχει ανέρθει στο 50%. Παράλληλα το επιφανειακό πετρέλαιο έχει μειωθεί από 34,7% σε 14,7%. Τέλος στο Σχήμα 118 παρουσιάζεται γραφικά η κατεύθυνση του επιφανειακού πετρελαίου τις πρώτες 7 ημέρες.



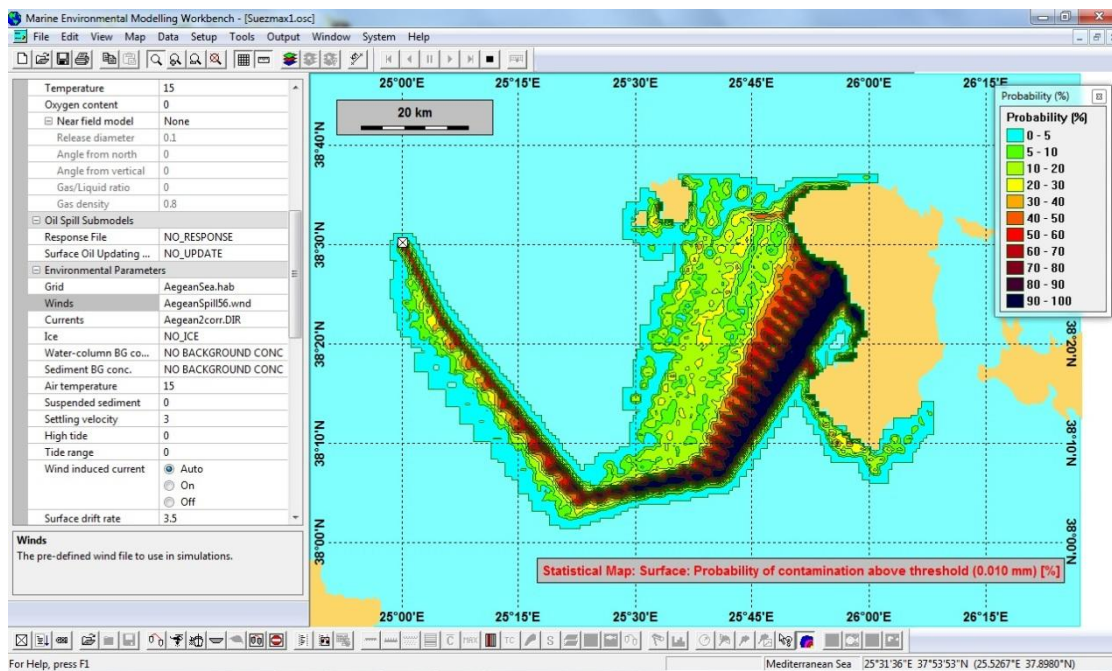
Σχήμα 115. Σενάριο 56-Κατάληξη πετρελαίου μετά από 7 ημέρες.



Σχήμα 116. Σενάριο 56-Κατάληξη πετρελαίου μετά από 14 ημέρες.



Σχήμα 117. Σενάριο 56-Κατάληξη πετρελαίου μετά από 21 ημέρες.

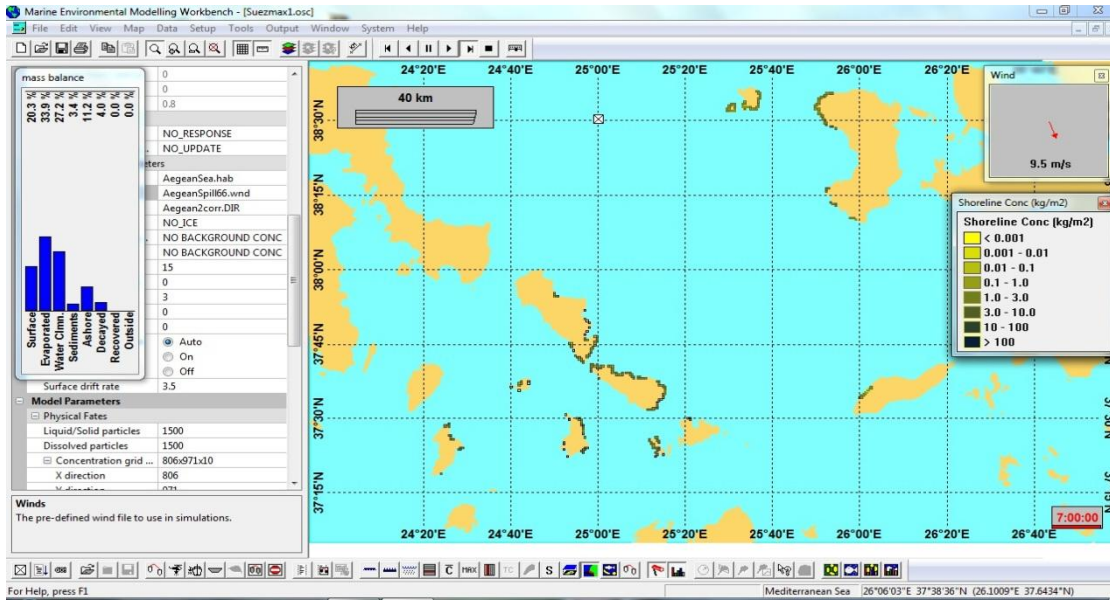


Σχήμα 118. Σενάριο 56-Κατεύθυνση επιφανειακού πετρελαίου τις πρώτες 7 ημέρες.

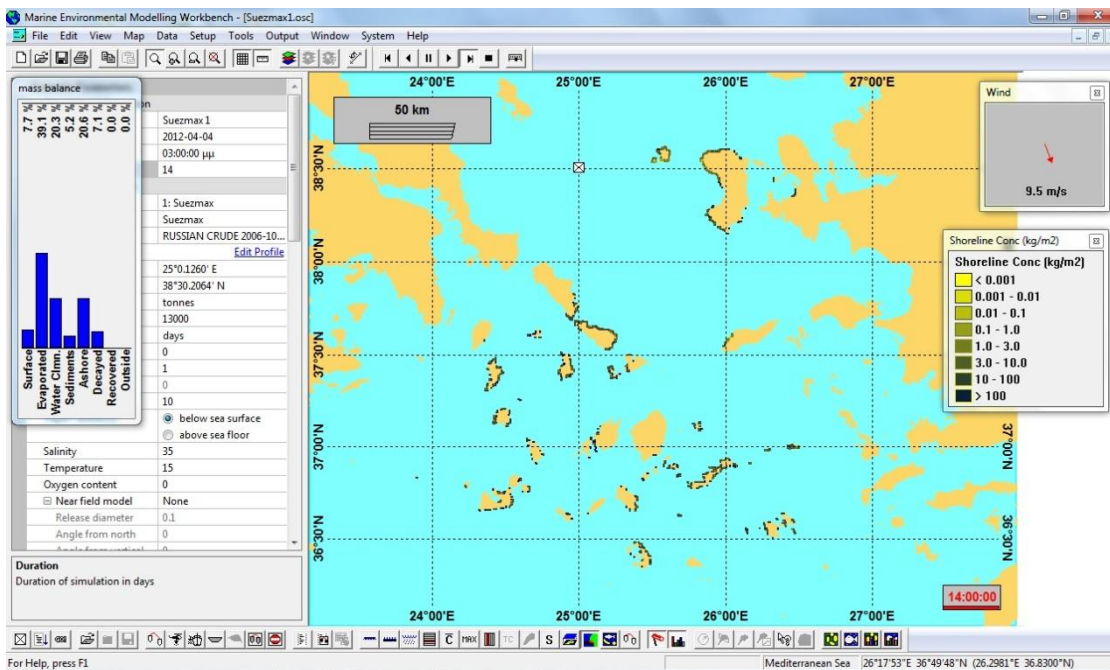
Σενάριο 66:

Στα Σχήματα 119, 120 και 121 φαίνονται οι περιοχές τις οποίες καταλήγει το πετρέλαιο μετά από 7, 14 και 21 ημέρες αντίστοιχα. Λόγω των ισχυρών ανέμων που επικρατούν στο συγκεκριμένο σενάριο βλέπουμε ότι τις πρώτες 7 ημέρες το πετρέλαιο έχει φτάσει στην Μύκονο, ενώ μετά από 14 ημέρες έχει πλήξει μέχρι και την Σαντορίνη. Το εντυπωσιακό όμως είναι ότι μετά από 21 ημέρες μικρές ποσότητες πετρελαίου έχουν φτάσει μέχρι τις

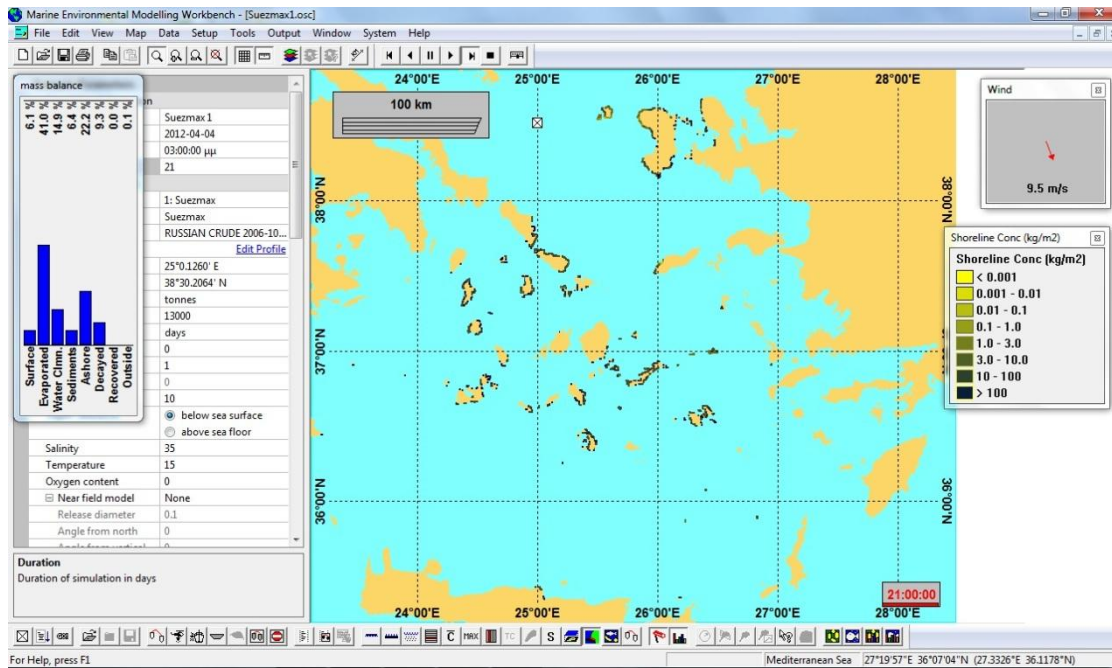
ακτές της Κρήτης. Επίσης, λόγω των ισχυρών ανέμων, στο συγκεκριμένο σενάριο έχουμε αυξημένο ποσοστό του πετρελαίου το οποίο βρίσκεται στη θαλάσσια στήλη νερού. Το ποσοστό αυτό τις πρώτες 7 ημέρες είναι 27,2% ενώ μετά από 21 ημέρες έχει μειωθεί στο 14,9%. Παράλληλα το επιφανειακό πετρέλαιο από 20,3% μειώνεται σε 6,1%.



Σχήμα 119. Σενάριο 66- Κατάληξη πετρελαίου μετά από 7 ημέρες.

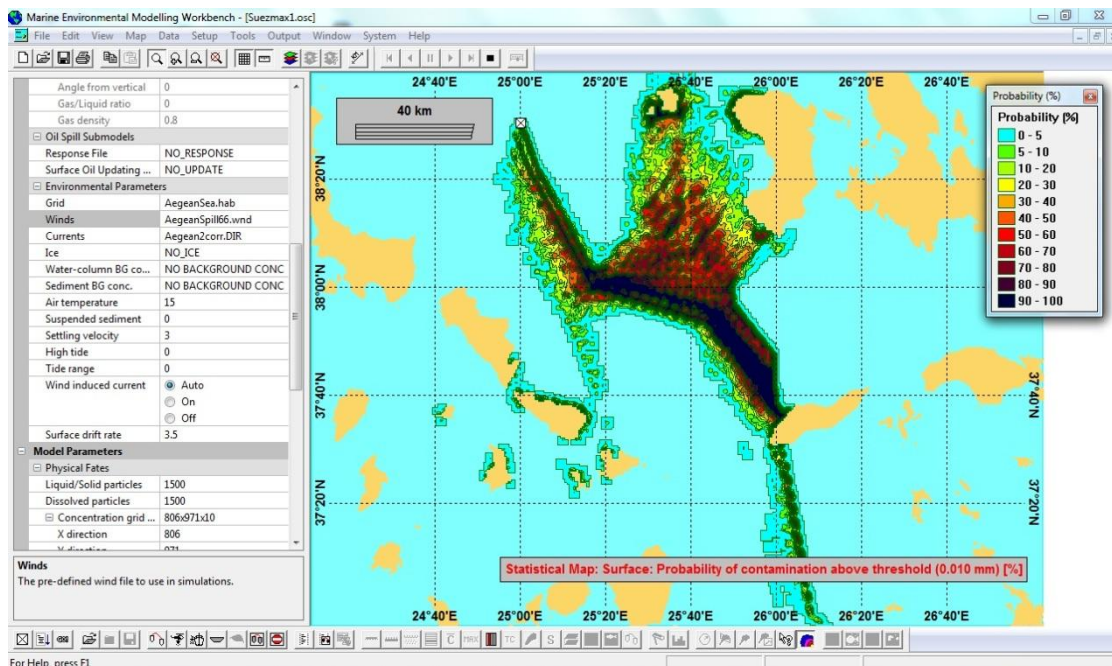


Σχήμα 120. Σενάριο 66-Κατάληξη πετρελαίου μετά από 14 ημέρες.

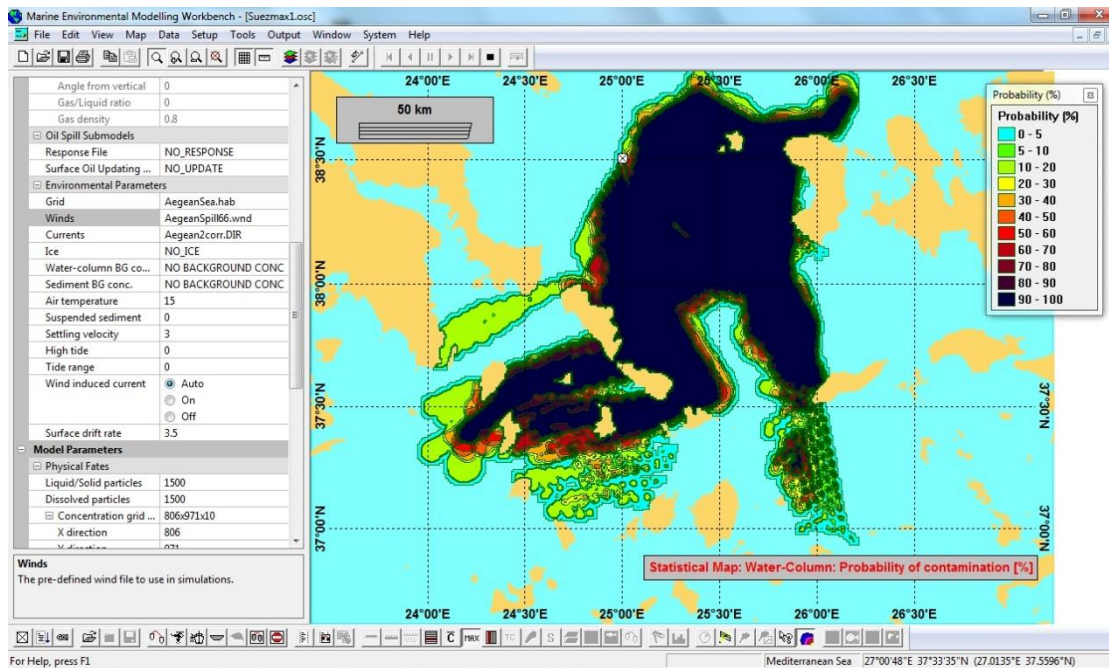


Σχήμα 121. Σενάριο 66-Κατάληξη πετρελαίου μετά από 21 ημέρες.

Τέλος στο **Σχήμα 122** παρουσιάζεται γραφικά η κατεύθυνση του επιφανειακού πετρελαίου τις πρώτες 7 ημέρες, ενώ στο **Σχήμα 123** η κατεύθυνση του πετρελαίου που βρίσκεται στη θαλάσσια στήλη του νερού. Βλέπουμε ότι ο μεγαλύτερος όγκος του πετρελαίου κατευθύνεται και καταλήγει στην Ικαρία, κυρίως λόγω των ισχυρών ανέμων, ενώ το πετρέλαιο που βρίσκεται στην θαλάσσια στήλη νερού έχει εξαπλωθεί σε όλη την περιοχή από τα Ψαρά μέχρι τις Κυκλάδες και την Ικαρία.

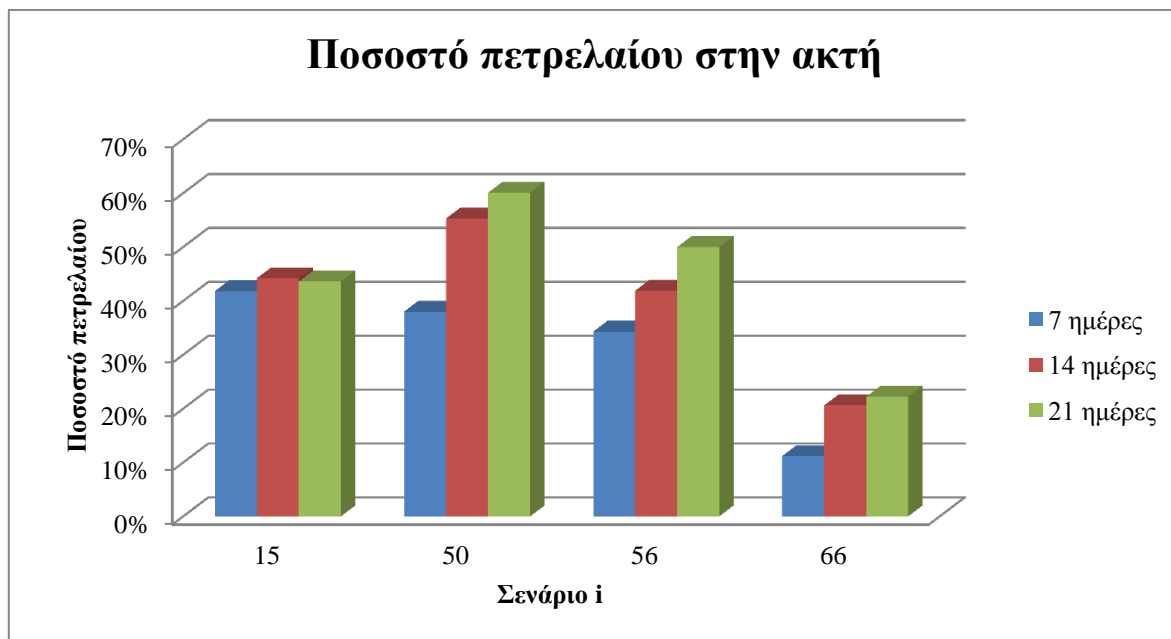


Σχήμα 122. Σενάριο 66-Κατεύθυνση επιφανειακού πετρελαίου τις πρώτες 7 ημέρες.



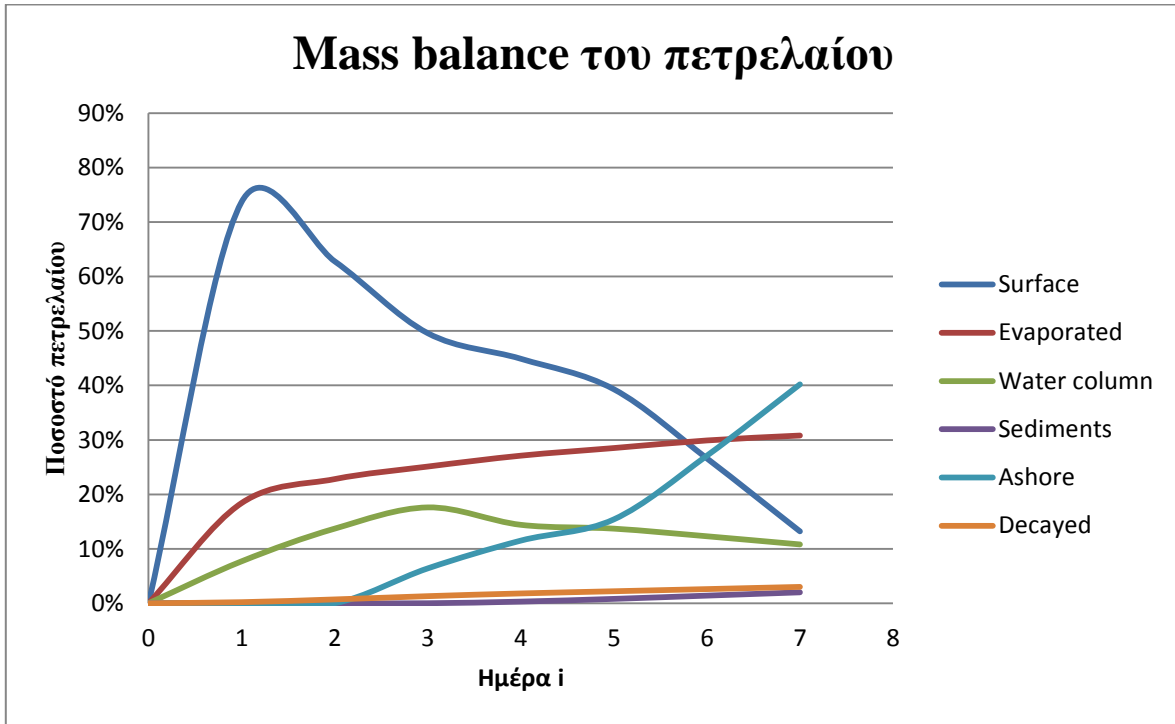
Σχήμα 123. Σενάριο 66-Κατεύθυνση πετρελαίου το οποίο είναι στη θαλάσσια στήλη νερού τις πρώτες 7 ημέρες.

Στο **Σχήμα 124** παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των παραπάνω σεναρίων όσον αφορά το ποσοστό του πετρελαίου που καταλήγει στην ακτή ανάλογα με την διάρκεια προσομοίωσης.

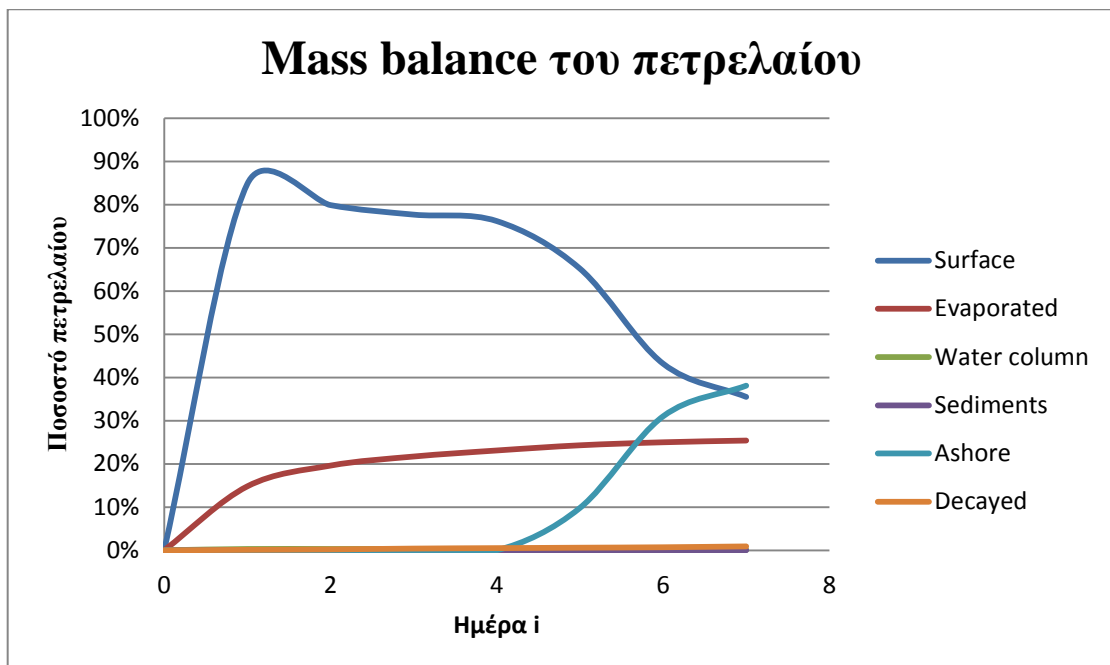


Σχήμα 124. Ποσοστό πετρελαίου στην ακτή ανάλογα με την διάρκεια προσομοίωσης.

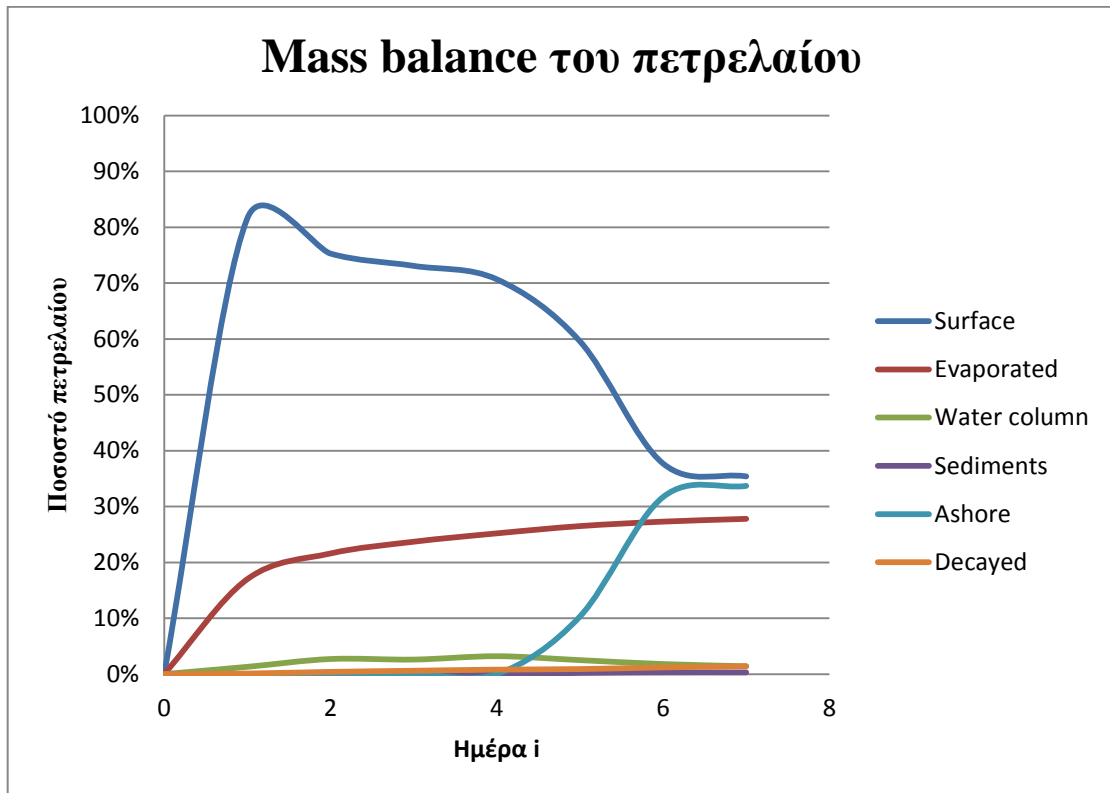
Στα παρακάτω γραφήματα, **Σχήμα 125, 126, 127 και 128** παρουσιάζεται το mass balance του πετρελαίου για τα σενάρια που αναλύουμε.



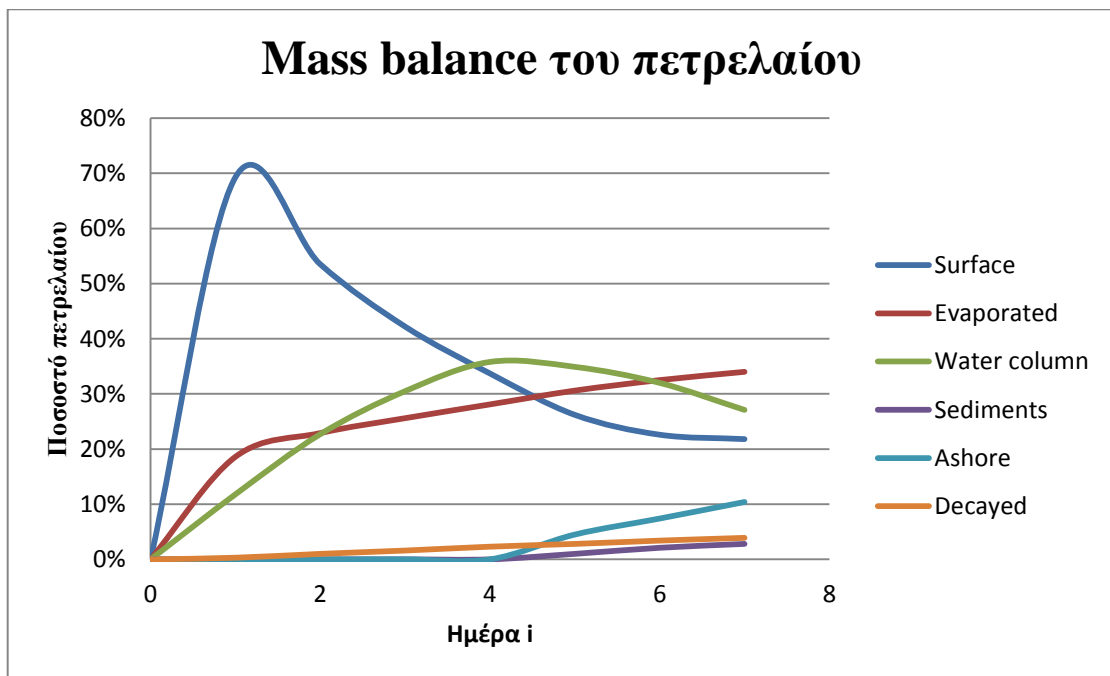
Σχήμα 125. Mass balance πετρελαίου για το σενάριο 15.



Σχήμα 126. Mass balance πετρελαίου για το σενάριο 50.



Σχήμα 127. Mass balance πετρελαίου για το σενάριο 56.



Σχήμα 128. Mass balance πετρελαίου για το σενάριο 66.

Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις

6.1 Σύνοψη-Συμπεράσματα

Το πρόγραμμα OSCAR παρέχει ένα εργαλείο για την διερεύνηση της τύχης μίας πετρελαιοκηλίδας. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την πρόβλεψη της κίνησής της και τον υπολογισμό της ποσότητας του πετρελαίου που θα καταλήξει στην ακτή. Μοντελοποιεί την διαρροή με την χρήση υδροδυναμικής και είναι κατάλληλο τόσο για μικρές όσο και για μεγάλες πετρελαιοκηλίδες, οι οποίες διασκορπίζονται σε μία ευρύτερη περιοχή. Είναι όμως αρκετά περίπλοκο στην χρήση του λόγω των πολλών διαφορετικών παραμέτρων που πρέπει να εισάγει ο χρήστης ώστε να έχει αξιόπιστα αποτελέσματα.

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα OSCAR στο μοντέλο του Sea Diamond διαπιστώνουμε την επιτακτική ανάγκη να παρακολουθείται στενά και με μεγάλη προσοχή η διάταξη του φράγματος που έχει στηθεί στην περιοχή μετά το ατύχημα. Παρόλα τα 6 χρόνια που έχουν περάσει από την στιγμή του ατυχήματος ο περιβαλλοντικός κίνδυνος παραμένει, ενώ σε ενδεχόμενη απομάκρυνση του φράγματος ο όρμος Αθηνιός είναι αυτός που θα υποστεί την μεγαλύτερη μόλυνση από το πετρέλαιο που διαφεύγει καθημερινά από το ναυάγιο.

Επίσης το σενάριο του ατυχήματος του tanker Suezmax στο Αιγαίο μας επισημαίνει την επικινδυνότητα από την ανεξέλεγκτη κίνηση εμπορικών πλοίων στις ελληνικές θάλασσες. Ένα μεγάλο ποσοστό των νησιών του Αιγαίου θα πληγούν από το πετρέλαιο που θα καταλήξει στις ακτές του σε διάστημα μόλις 7 ημερών μετά το ατύχημα. Ας σκεφτούμε λοιπόν τις συνέπειες ενός παρόμοιου ατυχήματος 15 ή και 30 ημέρες μετά την διαρροή του πετρελαίου στην θάλασσα. Πόσο μάλλον αν διαρρεύσει όλη η ποσότητα πετρελαίου που μεταφέρει ένα tanker Suezmax ή ακόμα χειρότερα να συμβεί παρόμοιο ατύχημα σε tanker Cape Size ή VLCC. Σε μία τέτοια περίπτωση οι συνέπειες για το Αιγαίο και τα ελληνικά νησιά θα ήταν ανυπολόγιστες.

6.2 Μελλοντικές επεκτάσεις

Πέραν των δυνατοτήτων του προγράμματος Oscar που χρησιμοποιήσαμε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, θα μπορούσε κανείς μέσα από το πρόγραμμα να καταστρώσει ένα σχέδιο έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση πετρελαιοκηλίδας. Ο σχεδιασμός υλοποιείται με την χρήση φραγμάτων, ελαιοσυλλεκτών και εναέριων διασκορπιστικών και θα μπορούσαμε να έχουμε μία εικόνα της αποτελεσματικότητας των διαφόρων μεθόδων περισυλλογής του πετρελαίου από την θάλασσα. Το πρόγραμμα λοιπόν μας παρέχει ένα εργαλείο για την ποσοτική και αντικειμενική

αξιολόγηση των εναλλακτικών στρατηγικών αντιμετώπισης μίας πετρελαιοκηλίδας. Τόσο τα φυσικά όσο και τα βιολογικά κριτήρια για την αποτελεσματικότητα της αντίδρασης σε ενδεχόμενη κηλίδα μπορούν να παρέχονται από το σύστημα. Περαιτέρω έρευνα, βασισόμενη στα αποτελέσματα που έχουμε εξάγει, μπορεί να γίνει για την ανάλυση των βιολογικών επιπτώσεων που προκύπτουν από διαρροές πετρελαίου και άλλων χημικών ουσιών.

Βιβλιογραφία

- [1] Ventikos, N. P. , 2006. Ship Source Oil Pollution: The Problem, the Synthesis and the Environment, National Technical University of Athens.
- [2] Smith, R. A. , Slack, J.R, Wyant, T. and Lanfear, K.J. 1980. The Oil Spill Risk Analysis Model of the U.S. Geological Survey. Open-File Report 80-687, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
- [3] Payne, J. R. , 1981. A review of the formation and behavior of water-in-oil emulsions (mousse) from spilled petroleum and tar ball distributions, chemistries and fates in the world's oceans. Workshop on Inputs, Fates and Effects of Petroleum in the Marine Environment, Clearwater Beach, Florida.
- [4] Al-Rabeh, A.H. , Cekirge, H.M. , and Gunay, N. 1989. A stochastic simulation model of oil spill fate and transport. Water Resources and Environment Division, Research Institute, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran, Saudi Arabia.
- [5] ITOPF. Technical information paper. Fate of Marine Oil Spills.
- [6] Ole Morten Aamo, Mark Reed and Alun Lewis, SINTEF Applied Chemistry, Environmental Engineering, N-7034 Trondheim, Norway. Regional Contingency Planning Using the OSCAR Oil Spill Contingency and Response Model.
- [7] Goran Loncar, Gordana Beg Paklar, Ivica Janekovic, Numerical modelling of oil spills in the area of Kvarner and Rijeka Bay (the northern Adriatic Sea).
- [8] Ole Morten Aamo, Mark Reed and Keith Downing IKU Petroleum Research N-7034 Trondheim Norway, 1997 International Oil Spill Conference. Oil Spill Contingency and Response (OSCAR) model system: Sensitivity studies.
- [9] Dr Mark Reed, Research Manager, Environmental Modelling Group, SINTEF Materials and Chemistry, The Foundation for Scientific and Industrial Research at the Norwegian Institute of Technology (NTH). Numerical Models for Marine Environmental Risk Management.
- [10] Poulos, S.E. , Drakopoulos, P.G. , Collins, M.B. 1996. Seasonal variability in sea surface oceanographic conditions in the Aegean Sea (Eastern Mediterranean) : an overview.
- [11] ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών, 2010. Μελέτη των επιπτώσεων της ρύπανσης που προκλήθηκε από το ατύχημα του κρουαζιερόπλοιου «Sea Diamond» στον όρμο Αθηνιός της νήσου Θήρας.
- [12] Dr Michael O'Brien, ITOPF Technical Team Manager. "SEA DIAMOND 3 Years on... Dealing with continual leakage from sunken wrecks", First Adriatic Oil Spill Conference, May 14, 2010.

- [13] CONCAWE, 1983. Characteristics of Petroleum and It's Behavior at Sea. Report No. 8/83.
- [14] Cormack, D. , 1983. Response to Oil and Chemical Marine Pollution. ASP
- [15] Fay, J. A., 1969. The spread of oil slicks on a calm sea. in, Oil on the Sea, D. P. Hoult, ed., Plenum Press, pp53-63
- [16] Fay, J. A., 1971. Physical processes in the spread of oil on a water surface. Proceedings of the Joint Conference on the Prevention and Control of Oil Spills, American Petroleum Institute, Washington, D.C., pp463-467
- [17] Johansen, O. , 1982. Dispersion of oil from drifting slicks. Spill Technology Newsletter, v8, n7, pp134-149
- [18] Kolpack, R. L. , Plutchak, N.B. and Stearns, R.W. 1977. Fate of Oil in a Water Environment-Phase II, a Dynamic Model of the Mass Balance for Released Oil. Publication 4313, American Petroleum Institute, Washington, D.C.
- [19] Mackay, D. and Matsugu, R.S. 1973. Evaporation rates of liquid hydrocarbon spills on land and water. Canadian Journal of Chemical Engineering, v51, pp434-439
- [20] Mackay, D. , Bruis, I.A. , Mascarenhas R. and Peterson, S. Oil Spill Processes and Models, Research and Development Division, Environmental Emergency Branch, Environmental Impact Control Directorate, Environmental Protection Service, Environment Canada, Canada, 1980.
- [21] Wheeler, R.B. The Fate of Petroleum in the Marine Environment, Exxon Production Research Co. Houston, TX, USA, 1978.
- [22] National Academy of Sciences, Oil in the Sea. Washington, D.C., 1985
- [23] Mackay, D. and Zagorski, W. Studies of water in oil emulsions. Report to the Canadian Environmental Protection Service, Ottawa, Canada, 1982
- [24] Lehr, W. J., Cekirge, H. M., Fraga, R. J., and Belen, M. S. Empirical studies of the spreading of oil spills. Oil and Petrochemical Poll. 1984
- [25] Ahlstrom, S. A mathematical model for predicting the transport of oil slicks in marine waters. Battelle Laboratories, Richland Washington, 1975
- [26] Haipu Bi, Hu Si, Dynamic risk assessment of oil spill scenario for Three Gorges Reservoir in China based on numerical simulation, Safety Sci. 2011
- [27] Water Resources and Environment Division, King Fahd University of Petroleum and Mineral, Dhahran, Saudi Arabia, Dec. 1994, Sustaining Research Project, Marine Environmental Studies, Vol IX Pollutant and sediment transport models.