



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**Εκτίμηση επικινδυνότητας ατυχημάτων
πετρελαιοκηλίδας–
Εφαρμογή δύο μεθοδολογιών στο Σαρωνικό κόλπο**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κραγιοπούλου Ελευθερία



Επιβλέπουσα: Βασιλική Τσουκαλά
Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Μάιος 2014

Εκτίμηση επικινδυνότητας ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας - Εφαρμογή δύο μεθοδολογιών στο Σαρωνικό κόλπο

Λέξεις-κλειδιά: πετρελαιοκηλίδα, θαλάσσια ρύπανση, εκτίμηση επικινδυνότητας, κίνδυνος, τρωτότητα, Σαρωνικός Κόλπος, GIS

Risk Assessment of Oil Spill Accidents - Application of two methodologies to Saronikos Gulf

Keywords: oil spill, marine pollution, risk assessment, hazard, vulnerability, Saronikos Gulf, GIS

Το περιεχόμενο της ανά χείρας διπλωματικής εργασίας αποτελεί προϊόν της δικής μου πνευματικής προσπάθειας. Η ενσωμάτωση σε αυτήν υλικού τρίτων, δημοσιευμένου ή μη, γίνεται με δόκιμη αναφορά στις πηγές, που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες.

Στο Μιχάλη
Σ' αυτά που έρχονται

Ευχαριστίες

Στα πλαίσια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου Β. Τσουκαλά, για την πολύτιμη βοήθεια και τις συμβουλές της, τον κ. Α. Στάμου καθώς και τον κ. Λ. Τσούλο για τη βοήθειά του σχετικά με το πρόγραμμα GIS. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα Γεωργία Παπαδονικολάκη για το χρόνο της καθώς και την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία και τη Διεύθυνση Προστασίας Θαλασσιού Περιβάλλοντος του Υπουργείου Ναυτιλίας και Αιγαίου για την παροχή των απαραίτητων για την εργασία στοιχείων.

Αξίζει να αναφέρω πως στην εκμάθηση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) συνέβαλε κατά πολύ το βιβλίο «Μαθαίνοντας τα GIS στην πράξη», των Τσουγλαράκη Α. και Αχιλλέως Γ., εκδόσεις ΔΙΣΙΓΜΑ.

Περιεχόμενα

Λίστα Πινάκων.....	iii
Λίστα Σχημάτων.....	iv
Λίστα Χαρτών.....	v
Λίστα Εικόνων.....	vi
Περίληψη.....	vii
Abstract.....	viii
1. Εισαγωγή.....	1
2. Θαλάσσια Ρύπανση από Πετρέλαιο.....	4
2.1. Θαλάσσιες μεταφορές και πετρελαϊκή ρύπανση.....	10
2.2. Θαλάσσια ρύπανση λόγω ναυτικών ατυχημάτων.....	12
2.3. Θαλάσσια ρύπανση λόγω λειτουργικών δραστηριοτήτων.....	14
2.4. Περιγραφή των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στην πετρελαιοκηλίδα κατά την παρουσία της στο υδάτινο περιβάλλον.....	16
2.5. Επιπτώσεις πετρελαιοκηλίδας.....	22
2.5.1. Κόστος καθαρισμού από πετρέλαιο.....	24
2.6. Τρόποι αντιμετώπισης πετρελαϊκής ρύπανσης.....	25
2.6.1. Καθαρισμός της θάλασσας.....	25
2.6.2. Καθαρισμός των ακτών.....	27
3. Παλαιότερα σημαντικά ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας.....	29
3.1. Παγκόσμια ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας.....	30
3.2. Ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας στον ελληνικό θαλάσσιο χώρο.....	34
3.2.1. Ατυχήματα στο Σαρωνικό κόλπο.....	39
4. Διεθνής και εθνική νομοθεσία για την πρόληψη, αποτροπή και αντιμετώπιση της θαλάσσιας ρύπανσης.....	40
4.1. Το Διεθνές Νομοθετικό Πλαίσιο Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος.....	41
4.2. MARPOL 1973/78.....	42
4.3. Θεσμικό πλαίσιο στην Ελλάδα.....	43
5. Εκτίμηση Επικινδυνότητας Πετρελαιοκηλίδας.....	45
5.1. Καταστάσεις Έκτακτης Ανάγκης.....	46
5.2. Η αξία μιας μελέτης εκτίμησης της επικινδυνότητας.....	48
6. Περιγραφή της περιοχής μελέτης.....	50
6.1. Βαθυμετρία.....	51
6.2. Μετεωρολογικά δεδομένα.....	52
6.3. Λιμάνια.....	53
6.4. Περιοχές περιβαλλοντικής σημασίας.....	54
7. Μοντέλο Πετρελαιοκηλίδας και Υδροδυναμικό Μοντέλο.....	57
7.1. Γενική αναφορά σε υπάρχοντα μοντέλα.....	57
7.1.1. Συνδυαστικά μοντέλα.....	58

7.1.2.Απλά Μοντέλα.....	59
7.2.Περιγραφή των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία...	61
7.2.1.Υδροδυναμικό μοντέλο.....	61
7.2.2.Μοντέλο πετρελαιοκηλίδας.....	62
8. Παρουσίαση και Εφαρμογή της 1 ^{ης} Μεθοδολογίας.....	66
8.1. Παρουσίαση της Μεθοδολογίας.....	66
8.1.1.Μοντέλο Συχνότητας Ατυχημάτων.....	67
8.1.2.Μοντέλο Εκτίμησης Επικινδυνότητας.....	67
8.1.2.1.Δίκτυο Bayesian.....	68
8.2.Εφαρμογή της Μεθοδολογίας στο Σαρωνικό κόλπο.....	69
8.2.1.Παράγοντες που επηρεάζουν τη συχνότητα των ατυχημάτων.....	69
8.2.2.Συντελεστές Παράκτιας Ευαισθησίας.....	71
8.2.3.Υδροδυναμικοί Υπολογισμοί.....	72
8.2.4.Ανάλυση Συχνότητας Ατυχημάτων.....	72
8.2.5.Υπολογισμοί Μοντέλου Πετρελαιοκηλίδας.....	73
8.2.6.Ανάλυση Επίπτωσης και Εκτίμηση Επικινδυνότητας.....	74
9. Παρουσίαση και Εφαρμογή της 2 ^{ης} Μεθοδολογίας.....	76
9.1.Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS).....	76
9.1.1. Ρόλος του Gis σε κάθε φάση μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης....	77
9.2.Παρουσίαση της Μεθοδολογίας.....	82
9.2.1.Ερμηνεία Βασικών Εννοιών.....	84
9.2.1.1.Κίνδυνος και Διακινδύνευση.....	84
9.2.1.2.Τρωτότητα.....	86
9.3.Εφαρμογή της Μεθοδολογίας στο Σαρωνικό Κόλπο.....	87
9.3.1.Υπολογισμός Κινδύνου.....	87
9.3.1.1. Χάρτης Κινδύνου.....	97
9.3.2.Υπολογισμός Τρωτότητας.....	98
9.3.2.1. Χάρτης Τρωτότητας.....	106
9.3.3.Υπολογισμός Διακινδύνευσης/Επικινδυνότητας.....	107
10. Σύγκριση των δύο Μεθοδολογιών.....	109
10.1. Ως προς τη διαδικασία.....	109
10.2. Ως προς το αποτέλεσμα.....	111
11. Συμπεράσματα.....	113
11.1 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	114
Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	115

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 2.1: Περιστατικά θαλάσσιας ρύπανσης στον ελληνικό χώρο το 2009.....	9
Πίνακας 3.1: Οι σημαντικότερες πετρελαιοκηλίδες παγκοσμίως.....	31
Πίνακας 3.2: Οι σημαντικότερες πετρελαιοκηλίδες από ναυτικά ατυχήματα στην Ελλάδα.....	38
Πίνακας 6.1: Ετήσια συχνότητα (%) διεύθυνσης του ανέμου και αντίστοιχης έντασης (κλίμακα Bf), παρατηρήσεις στις 06:00, 12:00, 18:00 GMT (Σταθμός Ελληνικού, περίοδος 1955-1998).....	52
Πίνακας 8.1: Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συχνότητα των ατυχημάτων (συσχετισμένοι με τα υδρογραφικά στοιχεία και τα χαρακτηριστικά πλοήγησης της περιοχής).....	70
Πίνακας 8.2: Συντελεστές ευαισθησίας.....	71
Πίνακας 9.1 Προτεινόμενη ορολογία στους όρους της οδηγίας 2007/60 για τα νερά.....	85
Πίνακας 9.2: Οι τέσσερις κατηγορίες του ενδεχόμενου κινδύνου των πλοίων ανάλογα με τον όγκο της αποθήκης των πλοίων (Gross Tonnage).....	87
Πίνακας 9.3: Κατηγοριοποίηση λιμανιών Σαρωνικού Κόλπου ως προς τον κίνδυνο που παρουσιάζουν έναντι ατυχήματος πετρελαιοκηλίδας.....	89
Πίνακας 9.4: Τρωτότητα περιοχών Natura.....	103
Πίνακας 9.5: Τρωτότητα περιοχών Corine.....	104
Πίνακας 9.6: Τρωτότητα περιοχών Τοπίων Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους.....	105

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 2.1: Πηγές Θαλάσσιας Ρύπανσης.....	7
Σχήμα 2.2: Κυριότερες Αιτίες Ατυχημάτων.....	13
Σχήμα 2.3: Ποσοστά ανθρώπινης και μηχανικής ευθύνης στα ναυτικά ατυχήματα...	14
Σχήμα 2.4: Υπολογισμένο ισοζύγιο μάζας πετρελαιοκηλίδας.....	17
Σχήμα 2.5: Κατακόρυφη διασπορά των στοιχείων του πετρελαίου κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας μετά από 10 ώρες.....	17
Σχήμα 5.1: Διάγραμμα ανάλυσης κινδύνου πετρελαιοκηλίδας.....	45
Σχήμα 8.1: Σχηματική παρουσίαση της 1ης μεθοδολογίας.....	66
Σχήμα 8.2: Επιφανειακά κύματα Σαρωνικού Κόλπου για (a) Β άνεμο-4bf και (b) Ν άνεμο-3bf.....	72
Σχήμα 8.3: Συχνότητα Ατυχημάτων.....	73
Σχήμα 8.4: Τροχιές πετρελαιοκηλίδων για (a) Β άνεμο-4bf και (b) Ν άνεμο-3bf....	73
Σχήμα 8.5: Επίπτωση ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας στο Σαρωνικό Κόλπο.....	74
Σχήμα 9.1: Συνοπτική παρουσίαση της διαχείρισης μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης και μερικά παραδείγματα κατά τη διάρκεια της οποίας το Gis παίζει σημαντικό ρόλο.....	80
Σχήμα 9.2: Χρήση του GIS σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.....	81
Σχήμα 9.3: Σχηματική απεικόνιση της 2 ^{ης} μεθοδολογίας.....	82
Σχήμα 9.4: Οι διελεύσεις πλοίων ανάλογα με τον όγκο της αποθήκης των πλοίων.....	88
Σχήμα 9.5: Διάγραμμα κινδύνου-τροπότητας που καθορίζει το βαθμό επικινδυνότητας.....	107
Σχήμα 10.1: Συνοπτική παρουσίαση μεθόδου συνδυασμού GIS με τηλεπισκόπηση.....	110

Λίστα Χαρτών

Χάρτης 3.1: Ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας στον Σαρωνικό Κόλπο 2003-2012.....	39
Χάρτης 6.1: Σαρωνικός κόλπος.....	50
Χάρτης 6.2: Βαθυμετρία Σαρωνικού Κόλπου.....	51
Χάρτης 6.3: Τα κυριότερα λιμάνια του Σαρωνικού κόλπου.....	53
Χάρτης 6.4: Παραλίες με Γαλάζια Σημαία.....	54
Χάρτης 6.5: Περιοχές Natura.....	55
Χάρτης 6.6: Βιότοποι Corine.....	55
Χάρτης 6.7: Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους.....	56
Χάρτης 9.1: Λιμάνια Σαρωνικού Κόλπου ως προς τον κίνδυνο που παρουσιάζουν.....	91
Χάρτης 9.2: Ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας στον Σαρωνικό Κόλπο 2003-2012.....	92
Χάρτης 9.3: Παράκτιες βιομηχανικές εγκαταστάσεις.....	93
Χάρτης 9.4: Δρόμοι κυκλοφορίας πλοίων.....	94
Χάρτης 9.5 Επιφανειακά ρεύματα Σαρωνικού Κόλπου για Ν άνεμο-3bf.....	95
Χάρτης 9.6: Βαθυμετρία Σαρωνικού Κόλπου.....	96
Χάρτης 9.7: Τελικός χάρτης κινδύνου.....	97
Χάρτης 9.8: Χρήσεις Γης στην περιοχή του Σαρωνικού Κόλπου.....	99
Χάρτης 9.9: Χρήσεις γης στην περιοχή του Σαρωνικού Κόλπου ταξινομημένες ως προς την τρωτότητα που εμφανίζουν.....	100
Χάρτης 9.10: Οι παραλίες του Σαρωνικού Κόλπου που έχουν χαρακτηριστεί με γαλάζια σημαία.....	101
Χάρτης 9.11: Επίπεδα αλιείας στην περιοχή του Σαρωνικού Κόλπου.....	102
Χάρτης 9.12: Περιοχές Natura στην ευρύτερη περιοχή του Σαρωνικού Κόλπου.....	103
Χάρτης 9.13: Οι περιοχές Corine στην περιοχή του Σαρωνικού Κόλπου.....	104
Χάρτης 9.14: Τα Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους στην περιοχή του Σαρωνικού Κόλπου.....	105
Χάρτης 9.15: Τελικός χάρτης τρωτότητας (vulnerability map).....	106
Χάρτης 9.16: Τελικός χάρτης διακινδύνευσης/επικινδυνότητας ατυχήματος πετρελαιοκηλίδας στο Σαρωνικό Κόλπο (risk map).....	108

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 2.1: Παγκόσμιο δίκτυο θαλασσίων μεταφορών με πλοία.....	11
Εικόνα 2.2: Ο τρόπος που οι πετρελαιοκηλίδες επηρεάζουν τη θαλάσσια ζωή και τροφική αλυσίδα.....	23
Εικόνα 2.3: Από την πετρελαιοκηλίδα της BP στον κόλπο του Μεξικού	24
Εικόνα 3.1: Το δεξαμενόπλοιο Ecxon Valdez	29
Εικόνα 3.2: Επιχείρηση καθαρισμού της πετρελαιοκηλίδας του Ecxon Valdez.....	30
Εικόνα 3.3: Οι μεγαλύτερες πετρελαιοκηλίδες στον κόσμο.....	34
Εικόνα 3.4: Το κρουαζιερόπλοιο Sea Diamond στη Σαντορίνη στο σημείο της πρόσκρουσης στις 5/4/2007.....	35
Εικόνα 3.5: Η προσάραξη του τουρκικού φορτηγού πλοίου στη Μύκονο στις 8/3/2014.....	36
Εικόνα 10.1: Σύγκριση των τελικών χαρτών διακινδύνευσης των δύο μεθοδολογιών.....	112

Περίληψη

Οι πετρελαιοκηλίδες αποτελούν μια σοβαρή απειλή για κάθε θαλάσσιο και παράκτιο περιβάλλον. Πολυάριθμα είναι τα ατυχήματα που έχουν συμβεί σε παγκόσμιο επίπεδο και το απέδειξαν με τις καταστροφικές τους συνέπειες. Η απειλή αυτή αποκτά ακόμα μεγαλύτερη βαρύτητα σε περιοχές που έχουν μεγάλη ναυτιλιακή κίνηση και ταυτόχρονα υψηλή περιβαλλοντική, κοινωνική, οικονομική ή/και τουριστική αξία. Μια επιστημονική λοιπόν προσέγγιση του κινδύνου που επιφυλάσσει ένα περιστατικό πετρελαιοκηλίδας ώστε να αποφευχθούν, να περιοριστούν ή να αντιμετωπιστούν οι επιπτώσεις του κρίνεται απαραίτητη, ειδικά σε μία χώρα που βασίζεται στην ναυτιλιακή της ανάπτυξη, όπως η Ελλάδα.

Για το σκοπό αυτό, στην διπλωματική αυτή εργασία εφαρμόζονται και συγκρίνονται δύο μεθοδολογίες που αφορούν την εκτίμηση επικινδυνότητας ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας με εφαρμογή στο Σαρωνικό κόλπο. Ο Σαρωνικός κόλπος επιλέχθηκε ως περιοχή μελέτης γιατί συγκεντρώνει με διαφορά τη μεγαλύτερη ναυτιλιακή κίνηση της Ελλάδας, ενώ παρουσιάζει επίσης μεγάλη περιβαλλοντική και τουριστική αξία.

Η εκτίμηση της επικινδυνότητας, που μελετάται σε αυτήν την εργασία, αποτελεί μαζί με τη διαχείριση της επικινδυνότητας την έννοια της ανάλυσης της επικινδυνότητας. Η εκτίμηση περιλαμβάνει τις διαδικασίες εκείνες που αφορούν την αναγνώριση και την αξιολόγηση του κινδύνου. Μία τέτοια μελέτη μπορεί να συμβάλει στην ετοιμότητα, ακόμα και στην αποφυγή ατυχημάτων, ενώ σε περίπτωση πραγματικού ατυχήματος μια μελέτη διαχείρισης συμβάλλει στην έγκαιρη και σωστή αντιμετώπισή του, συντελώντας ενεργά στη λήψη απόφασης για τη σωστή διαχείριση των πόρων και την εφαρμογή των κατάλληλων μέτρων για την αντιμετώπιση του ατυχήματος και τον μετριασμό των επιπτώσεών του.

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα του υδροδυναμικού μοντέλου FLOW-3DL και ενός μοντέλου πετρελαιοκηλίδας, που αναπτύχθηκαν από τον Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, καθώς τα θαλάσσια ρεύματα και η τροχιά της πετρελαιοκηλίδας αντίστοιχα είναι απαραίτητα στοιχεία για μια μελέτη εκτίμησης της επικινδυνότητας, παρουσιάζονται δύο μεθοδολογίες εκτίμησης της επικινδυνότητας. Η πρώτη, η οποία αναπτύχθηκε από το πανεπιστήμιο Bogazici της Κωνσταντινούπολης σε συνεργασία με το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, αποτελείται από ένα μοντέλο βασισμένο στη θεωρία του Bayes και υπολογίζει τη διακινδύνευση ως το γινόμενο της πιθανότητας και της επίπτωσης ενός ατυχήματος. Η δεύτερη μεθοδολογία βασίζεται στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και υπολογίζει τη διακινδύνευση ως το γινόμενο του ενδεχόμενου κινδύνου και της τρωτότητας της περιοχής. Το αποτέλεσμα αυτών είναι η δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας/διακινδύνευσης, που υποδεικνύουν τις πιο πιθανές και τις πιο ευαίσθητες περιοχές έναντι ατυχήματος πετρελαιοκηλίδας. Οι περιοχές που προκύπτουν κοινές και από τις δύο μεθοδολογίες να κινδυνεύουν περισσότερο από ατύχημα πετρελαιοκηλίδας είναι η περιοχή γύρω από το λιμάνι του Πειραιά, οι βορειοδυτικές ακτές της Αίγινας και η περιοχή κοντά στα Ίσθμια.

Abstract

An oil spill accident is a serious threat for all marine and coastal environments. Several oil spill accidents have occurred worldwide with severe environmental and economical consequences. This is even more true for areas having high environmental, social and/or touristic value, like Saronikos Gulf in Greece. A serious and scientifically rigorous identification of the hazard and risk related to oil slicks is becoming mandatory in order to prevent or mitigate the impact of oil dispersal at sea and adjacent coasts.

For this reason, two different methodologies of oil spill risk assessment are implemented at Saronikos Gulf. Saronikos Gulf was chosen as the study area because it includes many ports, one of which is Piraeus, the largest and busiest port in Greece, and therefore it plays an important role in the country's economy. Besides, there are several beaches and natural protected areas along the coasts of the Saronikos Gulf.

Risk assessment of oil spill accidents refers to those actions that include hazard identification and estimation and it can prove to be extremely useful during an emergency management, like an oil spill accident. More specifically, it can help to the phase of planning, mitigation and preparedness of a contingency plan and contribute to the protection of life, property and the environment.

An oil spill risk assessment needs the results that are obtained from a hydrodynamic model and an oil spill model, that is the wind currents and the oil spill trajectory. In this project the results from the Flow-3dl hydrodynamic model and the oil spill model that were developed from the researchers of the National Technical University of Athens (NTUA) were used. The first methodology of oil spill risk assessment, which was developed from the researchers of the Bogazici University (BU), is based on a Bayesian Model and the accident risk is considered as the product of accident probability and accident impact. The second one is based on Geographic Information Systems (Gis) and defines the accident risk as a product of hazard and vulnerability. The result of both methodologies is a risk map, where the areas most at risk from oil spill accidents are indicated. The common areas at highest risk between the two methodologies are the coastal areas near Piraeus Port, the north-western coasts of the island of Aegina and north-western end of the Gulf near the town of Isthmia.

1. Εισαγωγή

Σύμφωνα με τα διεθνή στατιστικά δεδομένα (National Academy of Sciences), εκτιμάται πως 1,7-8,8 εκατομμύρια τόνοι πετρελαίου διαχέονται στα διεθνή ύδατα κάθε χρόνο, από τους οποίους περισσότεροι από 70% συνδέονται άμεσα με ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι επιπτώσεις από αυτές τις πετρελαιοκηλίδες είναι προφανείς: μολυσμένο νερό, επιβάρυνση των θαλάσσιων οργανισμών και οικοσυστημάτων, τεράστιο οικονομικό και κοινωνικό κόστος.

Σε μια χώρα που η ναυτιλιακή και η τουριστική της ανάπτυξη αποτελεί βασικό στοιχείο του κορμού της οικονομίας της, όπως η Ελλάδα, είναι αναγκαίο να υπάρχει μια μελέτη πρόληψης έναντι ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας. Λόγω της γεωγραφικής της θέσης και της μεγάλης εμπορικής της ανάπτυξης τα ελληνικά νερά κινδυνεύουν οποιαδήποτε στιγμή από ένα ναυτικό ατύχημα που θα μπορεί να οδηγήσει σε μια οικολογική καταστροφή, κάτι που θα ζημίωνε και τα πολυάριθμα ευαίσθητα οικοσυστήματά της. Επομένως η ανάλυση της επικινδυνότητας ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας είναι απαραίτητο εργαλείο που μπορεί να συμβάλει στην αποτροπή ενός ατυχήματος ή στην έγκαιρη αντιμετώπισή του και στον μετριασμό των επιπτώσεών του εάν αυτό συμβεί. Αν παρατηρήσει κανείς τις καταστροφικές συνέπειες παγκόσμιων ναυτικών ατυχημάτων, θα κατανοήσει πλήρως την αξία και τα οφέλη μιας τέτοιας μελέτης.

Συγκεκριμένα, η ανάλυση της επικινδυνότητας ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας (risk analysis) περιλαμβάνει την εκτίμηση της επικινδυνότητας (risk assessment) και τη διαχείρισή της (risk management). Το πρώτο στοιχείο αφορά σε ενέργειες για την αναγνώριση και την αξιολόγηση του κινδύνου έχοντας προληπτική δράση έναντι ατυχήματος, ενώ το δεύτερο αφορά σε ενέργειες αντιμετώπισής του και επαναφοράς του περιβάλλοντος στην αρχική του κατάσταση σε περίπτωση πραγματικού ατυχήματος.

Σκοπός λοιπόν της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να εφαρμόσει και να συγκρίνει δύο μεθοδολογίες πάνω στην πρώτη φάση της ανάλυσης της επικινδυνότητας, δηλαδή στην εκτίμηση της επικινδυνότητας, δίνοντας ως αποτέλεσμα τις περιοχές του Σαρωνικού κόλπου που είναι περισσότερο επιρρεπείς ή ευαίσθητες σε ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας λόγω ναυτικών ατυχημάτων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα ενός υδροδυναμικού μοντέλου και ενός μοντέλου πετρελαιοκηλίδας καθώς και πολλά άλλα στοιχεία που απαιτούσε η κάθε μεθοδολογία. Ο Σαρωνικός κόλπος επιλέχθηκε ως περιοχή μελέτης καθώς συγκεντρώνει τρία βασικά στοιχεία: μεγάλη ναυτιλιακή κίνηση, περιβαλλοντική αξία, τουριστικό ενδιαφέρον, ενώ αντίστοιχη μελέτη θα πρέπει να βρει εφαρμογή και σε άλλες παράκτιες περιοχές της Ελλάδας.

Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη θαλάσσια ρύπανση από τις μεταφορές γενικότερα και ειδικότερα στη ρύπανση από το πετρέλαιο, το οποίο είναι και η κύρια πηγή της θαλάσσιας ρύπανσης. Στη συνέχεια περιγράφονται σύντομα οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε μια πετρελαιοκηλίδα κατά την παρουσία της στο υδάτινο περιβάλλον, ώστε να κατανοηθούν η συμπεριφορά και η ιδιότητές της. Προκειμένου να τονιστεί πόσο σημαντική είναι μια μελέτη ανάλυσης επικινδυνότητας έναντι

ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας ακολουθεί μια αναφορά στις καταστροφικές συνέπειες ενός ατυχήματος πετρελαιοκηλίδας τόσο από περιβαλλοντικής όσο και από οικονομικής και κοινωνικής άποψης. Τέλος, παρουσιάζονται συνοπτικά οι τρόποι αντιμετώπισής της σε περίπτωση πραγματικού ατυχήματος σε επίπεδο καθαρισμού της θάλασσας αλλά και των ακτών.

Στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναφορά στα ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας που έχουν σημειωθεί παγκοσμίως καθώς και στα ατυχήματα στον ελληνικό θαλάσσιο χώρο και λεπτομερέστερα για το Σαρωνικό κόλπο, που αποτελεί την περιοχή μελέτης. Παρατηρώντας κανείς πόσο μαύρες στιγμές στην ιστορία υπήρξαν κάποια από αυτά τα ατυχήματα λόγω των περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών τους συνεπειών, μπορεί να κατανοήσει την αξία της πρόληψης έναντι τέτοιων ατυχημάτων μέσω μιας μελέτης ανάλυσης της επικινδυνότητάς τους.

Πολλά από αυτά τα ατυχήματα αποτέλεσαν την αφορμή για νέους και αυστηρότερους νόμους για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος και την αποφυγή της ρύπανσης. Έτσι στο 4^ο κεφάλαιο περιγράφεται το Διεθνές Νομοθετικό Πλαίσιο Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος, με αναλυτική παρουσίαση της συνθήκης MARPOL 1973/1978 καθώς και το ισχύον θεσμικό πλαίσιο στην Ελλάδα.

Το 5^ο κεφάλαιο αναφέρεται στο κεντρικό θέμα της εργασίας. Περιλαμβάνει την ανάλυση των εννοιών «ανάλυση», «εκτίμηση» και «διαχείριση» της επικινδυνότητας, με έμφαση στη σημασία της εκτίμησης που αποτελεί και το αντικείμενο της εργασίας. Αναλύονται οι φάσεις των καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, καθώς ένα ατύχημα πετρελαιοκηλίδας αποτελεί μία τέτοια κατάσταση, και γίνεται αντιστοίχιση των φάσεων αυτών με τις διαδικασίες που περιλαμβάνονται σε μια μελέτη εκτίμησης της επικινδυνότητας.

Στο 6^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται, μετά από μια σύντομη περιγραφή των πιο διαδεδομένων μοντέλων, το υδροδυναμικό μοντέλο (FLOW-3DL) και το μοντέλο πετρελαιοκηλίδας που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, καθώς αποτελούν απαραίτητα και βασικά συστατικά για τις δύο μεθοδολογίες ανάλυσης της επικινδυνότητας που ακολουθούν. Τα δύο αυτά μοντέλα αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν από τον Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματά τους.

Στη συνέχεια της εργασίας, αφού προηγηθεί στο 7^ο κεφάλαιο η περιγραφή της περιοχής μελέτης, δηλαδή του Σαρωνικού κόλπου, παρουσιάζονται οι δύο μεθοδολογίες και τα αποτελέσματά τους. Στο 8^ο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η μεθοδολογία εκτίμησης επικινδυνότητας ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας που αναπτύχθηκε από το πανεπιστήμιο Bogazici της Κωνσταντινούπολης. Η μεθοδολογία αυτή βασίζεται σε ένα δίκτυο Bayesian και υπολογίζει τη διακινδύνευση ατυχήματος ως το γινόμενο της πιθανότητας ενός ατυχήματος και των επιπτώσεών του. Αναλύονται όλοι οι παράγοντες που συντελούν στη σύνθεση της μεθοδολογίας και έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός χάρτη επικινδυνότητας του Σαρωνικού κόλπου στον οποίο υποδεικνύονται οι περιοχές εκείνες που κινδυνεύουν περισσότερο από ένα ατύχημα πετρελαιοκηλίδας. Οι περιοχές αυτές είναι η περιοχή γύρω από το

λιμάνι του Πειραιά, οι βορειοδυτικές ακτές της Αίγινας και η περιοχή κοντά στα Ίσθμια.

Στο 9^ο κεφάλαιο αντίστοιχα παρουσιάζεται η δεύτερη μεθοδολογία η οποία είναι βασισμένη στα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS). Η διακινδύνευση εδώ υπολογίζεται ως το γινόμενο του κινδύνου και της τρωτότητας, ενώ γίνεται μια αναλυτική αποσαφήνιση των παραπάνω εννοιών προς αποφυγή συγχύσεων, ιδιαίτερα μεταξύ της έννοιας του «κινδύνου» και της «διακινδύνευσης/επικινδυνότητας». Αναλύονται επίσης όλοι οι απαραίτητοι παράγοντες της μεθοδολογίας και το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι και πάλι ένας χάρτης επικινδυνότητας. Σε αυτή τη μεθοδολογία προκύπτουν ως επικίνδυνες περιοχές οι ίδιες με την 1η, με την προσθήκη όμως μιας επιπλέον περιοχής, αυτή της νότιας περιοχής της χερσονήσου των Μεθάνων. Η διαφορά αυτή οφείλεται στη λήψη μιας επιπλέον παραμέτρου, συγκεκριμένα των παλαιότερων ατυχημάτων που έχουν σημειωθεί στον κόλπο, κατά τον υπολογισμό του κινδύνου της 2ης μεθοδολογίας.

Τέλος, στο 10^ο κεφάλαιο συγκρίνονται οι δύο μεθοδολογίες τόσο ως προς τη διαδικασία όσο και ως προς το αποτέλεσμα τους ενώ στο 11^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

2. Θαλάσσια ρύπανση από πετρέλαιο

Σε άρθρο της εφημερίδας «Καθημερινής» που δημοσιεύτηκε στις 11/09/2013, αναφέρεται: «Αναστάτωση προκάλεσε το πρόσφατο περιστατικό ρύπανσης του Σαρωνικού –και δικαίως. Η πετρελαιοκηλίδα επηρέασε δημοφιλείς πλαζ της Αττικής, όπου συρρέουν καθημερινά χιλιάδες λουόμενοι. Δυστυχώς, όμως, η ρύπανση της θάλασσας δεν υπάρχει μόνο... όταν τη βλέπουμε. Μελέτη του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ) που διεξήχθη στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος «Αιγαίο», με χρηματοδότηση του προγράμματος «Ανταγωνιστικότητα» του Υπουργείου Ανάπτυξης, αποκαλύπτει μια ανησυχητική εικόνα. Η εξέταση δορυφορικών εικόνων της τελευταίας τετραετίας εμφάνισε συνολικά 579 πετρελαιοκηλίδες στο Αιγαίο (περίπου 12 το μήνα), οι οποίες μάλιστα παρουσίαζαν μεγαλύτερη συσσώρευση κατά μήκος των διαδρομών συχνής διέλευσης των πλοίων. «Η πραγματικότητα είναι ακόμα πιο ζοφερή, καθώς οι πετρελαιοκηλίδες αυτές είναι μόνο όσες “έπιασε” ο δορυφόρος όταν περνούσε πάνω από το Αιγαίο. Το σύνολο είναι πολλαπλάσιο. Είναι σαφές ότι υπάρχει πρόβλημα. Το Αιγαίο βρίσκεται στο έλεος της πετρελαϊκής ρύπανσης», τονίζει στην «Καθημερινή» ο γεωφυσικός θαλάσσης και διευθυντής Ερευνών του ΕΛΚΕΘΕ, κ. Πέτρος Παυλάκης.

Όπως εξηγεί, η απειλή δεν προέρχεται τόσο από τα ναυτικά ατυχήματα. «Ατυχήματα δεν συμβαίνουν συχνά και όταν συμβούν εντοπίζονται συνήθως αμέσως, υπάρχει κινητοποίηση των αρμόδιων αρχών, επιβάλλονται κυρώσεις. Δυστυχώς, τη μάλιστα των ελληνικών θαλασσών φαίνεται ότι αποτελεί η εσκεμμένη απόρριψη πετρελαϊκών καταλοίπων στη θάλασσα, με το πλύσιμο των δεξαμενών πετρελαίου, το άδειασμα των σεντίνων, την απαλλαγή από υπέρογκη αποθήκευση καυσίμου για εξοικονόμηση χώρου φορτίου κ.ά.». Μην ξεχνάμε ότι, εκτός από την τοπική ναυσιπλοΐα, το Αιγαίο φέρει και το βαρύ φορτίο της συχνής διέλευσης πετρελαιοφόρων και άλλων πλοίων, που εισέρχονται και εξέρχονται τράνζιτ από τα Δαρδανέλλια και τα στενά των Κυθήρων και της Καρπάθου. «Πράγματι, τη μεγαλύτερη ζημιά κάνουν όσοι διέρχονται από τις θάλασσές μας χωρίς να πιάνουν καν λιμάνι στη χώρα μας. Για ένα μεγάλο ποσοστό, οι παραβάσεις των διεθνών κανόνων για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος είναι συνήθης πρακτική».

Υπενθυμίζεται ότι πέρυσι, η άρνηση της Ελλάδας να επικυρώσει την ευρωπαϊκή οδηγία (COM 2003/92), η οποία προβλέπει αυστηρές κυρώσεις στους υπαίτιους των παράνομων πετρελαϊκών απορρίψεων, είχε ξεσηκώσει αντιδράσεις. Ο κ. Παυλάκης ωστόσο συμφωνεί με τη στάση της χώρας μας. Εξηγεί: «Κατ' αρχάς η οδηγία είναι αδύναμη, καθώς δεν μπορεί να υπερκεράσει σε εύρος εφαρμογής τη σύμβαση MARPOL. Ακόμα όμως και η διεθνής σύμβαση είναι αδύναμη να αντιμετωπίσει δραστικά το πρόβλημα. Και αυτό γιατί η δικαιοδοσία των παράκτιων κρατών βρίσκεται μόνο επί των χωρικών τους υδάτων. Εάν ο υπαίτιος της ρύπανσης βρίσκεται εκτός χωρικών υδάτων, η δικαιοδοσία του κράτους περιορίζεται μόνο στην καταγγελία του ενόχου στο κράτος τη σημαία του οποίου φέρει το σκάφος. Στην Ελλάδα το πρόβλημα είναι πιο οδυνηρό, καθώς τα χωρικά ύδατα περιορίζονται μόνο μέχρι τα 6 ναυτικά μίλια – καθώς η Τουρκία απειλεί με casus belli. Ακόμα και η προσπάθεια διεύρυνσης του πεδίου εφαρμογής της οδηγίας στη λεγόμενη αποκλειστική οικονομική ζώνη των κρατών-μελών, δηλαδή έως τα 200 ναυτικά μίλια,

είναι μετέωρη, καθώς η οριοθέτηση της ζώνης αυτής όσον αφορά την Ελλάδα (πλην του Ιονίου) παραμένει σε εκκρεμότητα».

Σύμφωνα με τον ίδιο, προϋπόθεση για την αποτελεσματική εφαρμογή αυστηρών μέτρων είναι η Ε.Ε. να εξασφαλίσει την ομοιομορφία του πεδίου εφαρμογής τους, δηλαδή ευρωπαϊκά χωρικά ύδατα στα 12 ναυτικά μίλια και ευρωπαϊκή αποκλειστική οικονομική ζώνη. «Εάν δεν διευθετηθούν αυτά τα ζητήματα, το υπερευαίσθητο θαλάσσιο οικοσύστημα του Αιγαίου θα συνεχίσει να βρίσκεται στο έλεος της ρύπανσης από τη συχνότατη και ανεξέλεγκτη διέλευση ρυπογόνων πλοίων», καταλήγει ο κ. Παυλάκης.

Μπορεί η εμφάνιση πετρελαιοκηλίδων να μην είναι συχνό φαινόμενο και η λειτουργία της Ψυττάλειας να έχει σε μεγάλο βαθμό καθαρίσει την περιοχή, ο Σαρωνικός ωστόσο παραμένει σήμερα ένας από τους περισσότερο επιβαρημένους περιβαλλοντικά κόλπους της χώρας. Πρόσφατη έκθεση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος και του Περιβαλλοντικού Προγράμματος του ΟΗΕ, με τίτλο «Ζητήματα Προτεραιότητας για το Μεσογειακό Περιβάλλον» (Απρίλιος 2006) αναφέρει ότι στον Σαρωνικό εξακολουθούν να καταλήγουν επεξεργασμένα σε πρώτο βαθμό αστικά λύματα και εργοστασιακά απόβλητα, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται περιστασιακά σημάδια ευτροφισμού, ενώ τα μη επεξεργασμένα βιομηχανικά απόβλητα που καταλήγουν στη θάλασσα από τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις της Ελευσίνας οδηγούν στην ανίχνευση υψηλών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στο νερό, τα ιζήματα και τη θαλάσσια χλωρίδα και πανίδα.

Υπενθυμίζεται ότι μέχρι το 1995, πριν δηλαδή από τη λειτουργία της Ψυττάλειας, όλα τα αστικά λύματα της Αθήνας έπεφταν χωρίς επεξεργασία στον Σαρωνικό από τον Κεντρικό Αποχετευτικό Αγωγό Αθηνών στο Κερατσίνι. Είναι χαρακτηριστικό, όπως αναφέρεται σε έκθεση του Συλλόγου Ελλήνων Ωκεανογράφων, πως το οικοσύστημα κοντά στον παλιό αγωγό παρέμεινε για πολλά χρόνια μετά διαταραγμένο».

Σε μια εποχή όπου το πετρέλαιο, ή αλλιώς ο μαύρος χρυσός, αποτελεί την κινητήρια οικονομική δύναμη του κόσμου, είναι ειρωνικό το πόσο μεγάλες ποσότητες καταλήγουν σκόπιμα ή μη στη θάλασσα επιφέροντας, σύμφωνα με τους επιστήμονες, ιδιαίτερα επιβλαβείς συνέπειες στον υδάτινο κόσμο. Πρόκειται φυσικά για το φαινόμενο των πετρελαιοκηλίδων και τη ρύπανση που αυτές μπορούν να δημιουργήσουν. Θέμα αρκετά επίκαιρο, μιας και το πρόσφατο συμβάν με την πετρελαιοκηλίδα στον κόλπο του Μεξικού το 2010, όπου το πετρέλαιο διέρρευε για περίπου 100 ημέρες, έχει χαρακτηριστεί ως μια από τις μεγαλύτερες οικολογικές καταστροφές της προηγούμενης δεκαετίας.

Σύμφωνα με την Εφημερίδα της Κυβερνήσεως (ΦΕΚ 6), ως «πετρέλαιο» καλείται κάθε είδος ή μίγμα αργού ή καυσίμου πετρελαίου ή προϊόντων διύλισης αυτού ή πετρελαιοειδή κατάλοιπα προερχόμενα από χώρους μηχανοστασίων πλοίων ή χώρους φορτίων δεξαμενοπλοίων ή εγκαταστάσεις ή οποιαδήποτε μίγματα υδρογονανθράκων/ύδατος που προσομοιάζουν με πετρελαιοειδή. Ως «επιβλαβείς ουσίες» στη συνέχεια, καλούνται ουσίες διαφορετικές από πετρέλαιο οι οποίες εφόσον διαφύγουν στο θαλάσσιο περιβάλλον ενδέχεται να έχουν δυσμενείς

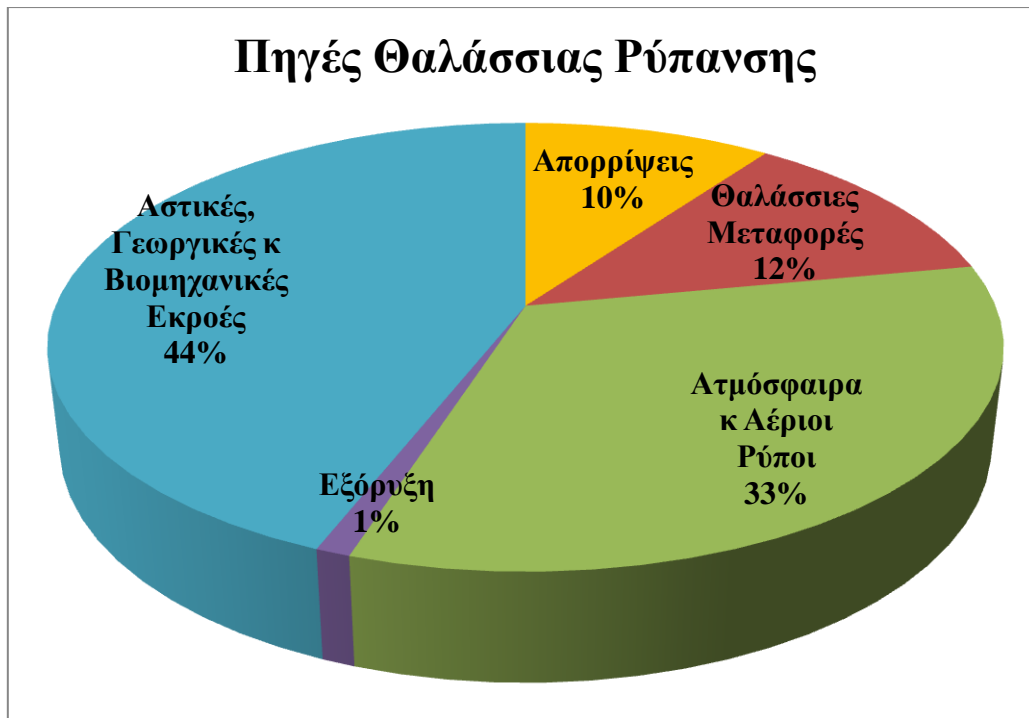
επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, στο θαλάσσιο οικοσύστημα και να προξενήσουν ζημιές σε περιοχές αναψυχής ή να παραβιάσουν άλλες νόμιμες χρήσεις της θάλασσας.

Πετρελαϊκό ρυπαντικό περιστατικό θεωρείται ένα συμβάν ή μια ακολουθία συμβάντων που έχουν την ίδια αρχή, τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε εκροή πετρελαίου και πιθανώς αποτελεί ή μπορεί να αποτελέσει απειλή για το θαλάσσιο περιβάλλον. Οι πετρελαιοκηλίδες αποτελούν δυστυχώς κίνδυνο σε πολλές χώρες τόσο για το φυσικό όσο και για το ανθρώπινο περιβάλλον. Καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις είναι καθαρά λόγω ατυχήματος κανείς δεν μπορεί να ξέρει πότε, πού και γιατί θα συμβούν. Ένα ατύχημα πετρελαιοκηλίδας μπορεί να συμβεί στην ξηρά ή πιο συχνά στη θάλασσα, οποιαδήποτε ώρα και υπό οποιοσδήποτε καιρικές συνθήκες. Οι βασικές αιτίες είναι κυρίως τα ναυτικά ατυχήματα των πλοίων καθώς και οι λειτουργικές διαδικασίες πλοίων ή εργοστασίων.

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να διευκρινίσουμε τι εννοούμε με τον όρο θαλάσσια ρύπανση και πώς αυτή προκαλείται από την διαρροή πετρελαίου. Σύμφωνα με το περιβαλλοντικό τμήμα των Ηνωμένων Εθνών (UNAPT) που καλύπτει και την περίπτωση της διαρροής πετρελαίου στη θάλασσα από πλοία (Prandic, 1981, Βεντίκος, 2004): «...Ρύπανση θεωρείται η άμεση ή έμμεση εισαγωγή διαφόρων ουσιών ή ενέργειας στο θαλάσσιο περιβάλλον από τον άνθρωπο που μπορούν να έχουν επιζήμιες επιπτώσεις, όπως είναι η επιβάρυνση της θαλάσσιας χλωρίδας και πανίδας, οι κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία, η παρεμπόδιση πολλών θαλασσιών δραστηριοτήτων και η μείωση του επιπέδου της ποιότητας, της χρήσης και του πλούτου του θαλασσινού νερού...»

Σύμφωνα με τον Αλεξόπουλο (2009), υπάρχουν έξι κύριες πηγές ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος (Σχήμα 2.1):

- Ρύπανση από απορρίψεις
- Ρύπανση από χερσαίες πηγές
- Ρύπανση από την εξόρυξη και την εκμετάλλευση της υφαλοκρηπίδας του βυθού των θαλασσών
- Ρύπανση από την ατμόσφαιρα
- Ρύπανση από τις θαλάσσιες μεταφορές



Σχήμα 2.1 Πηγές Θαλάσσιας Ρύπανσης (πηγή στοιχείων: Α. Αλεξόπουλος (2009) Διεθνές Θαλάσσιο Περιβαλλοντικό Δίκαιο)

Η ρύπανση της θάλασσας αλλά και του εδάφους με πετρελαιοειδή έχει τεράστιες συνέπειες στο φυσικό περιβάλλον. Το πετρέλαιο είναι ελαφρύτερο από το νερό και γι' αυτό επιπλέει στην επιφάνειά του. Από τη στιγμή που το πετρέλαιο θα βρεθεί στη θάλασσα, αρχίζει μια αργή, φυσική διαδικασία οξείδωσης και βιοδιάσπασης του από μικροοργανισμούς που έχουν την ικανότητα να διασπών υδρογονάνθρακες. Το υπόλειμμα του πετρελαίου, τρεις μήνες περίπου μετά τη δημιουργία της πετρελαιοκηλίδας, αποτελείται από ένα υδρόφοβο τμήμα, που συσσωματώνεται σε σβώλους και ένα υδρόφιλο τμήμα, το οποίο προσλαμβάνει μεγάλες ποσότητες νερού και μετατρέπεται σε ένα παχύρρευστο γαλάκτωμα με τη μορφή ελαιώδους λάσπης. Οι σβώλοι κατακάθονται στο βυθό ή μεταφέρονται με τη βοήθεια ρευμάτων στις κοντινές ακτές μαζί με την ελαιώδη αυτή λάσπη όπου παραμένουν για λίγους μήνες (ακτές με έντονα κύματα) ή και για χρόνια (ήρεμες ακτές).

Το 30-40% των πετρελαιοειδών που ρίχνονται στην επιφάνεια της θάλασσας αποτελείται από πτητικά συστατικά, τα οποία εξατμίζονται γρήγορα, ενώ τα υπόλοιπα συστατικά σχηματίζουν ένα λεπτό, «μονομοριακό» όπως λέγεται, στρώμα πετρελαίου το οποίο εμποδίζει τις φυσικές ανταλλαγές που συμβαίνουν μεταξύ νερού και ατμοσφαιρικού αέρα και οι οποίες είναι απαραίτητες για το βιολογικό κύκλο της θαλάσσιας ζωής. Το στρώμα αυτό του πετρελαίου, με άλλα λόγια, μειώνει στο ελάχιστο την ανανέωση του νερού με το οξυγόνο του αέρα, εμποδίζει τις ακτίνες του ήλιου να εισχωρήσουν βαθιά στη θάλασσα για τη φωτοσύνθεση, προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του νερού και υπερβολική ανάπτυξη μικροοργανισμών που καταναλώνουν οξυγόνο. Τα μαλάκια και τα φυτά είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε αυτή τη ρύπανση γιατί δηλητηριάζονται και πεθαίνουν από ασφυξία. Το ίδιο συμβαίνει και με τα ψάρια εκείνα που δεν εγκαταλείπουν έγκαιρα τη ρυπασμένη περιοχή. Η πίσσα που

εκβράζεται στις παραλίες καταστρέφει τους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς, ενώ έχει υπολογιστεί ότι απαιτούνται 2-3 χρόνια για να αποκατασταθεί μερικώς η παράκτια χλωρίδα. Ως προς τα πουλιά οι επιπτώσεις της ρύπανσης είναι δραματικές. Τα φτερά τους καλύπτονται από πετρέλαιο, δεν μπορούν να πετάξουν, πεθαίνουν από το κρύο γιατί δεν έχουν πλέον το μονωτικό στρώμα των φτερών και των πούπουλων, ενώ όσα επιβιώνουν, δηλητηριάζονται και πεθαίνουν στην προσπάθεια τους να απαλλαγούν από το πετρέλαιο.

Στη Μεσόγειο, λόγω της απουσίας μεγάλων κυμάτων, έντονων καιρικών φαινομένων, αλλά και μεγαλύτερης συγκέντρωσης αλατότητας, η φυσική διάλυση μιας πετρελαιοκηλίδας δυσχεραίνεται.

Πάνω από 100 εκατ. τόνοι πετρελαιοειδών διακινούνται ετησίως μέσω των ελληνικών θαλασσών, λόγω της κομβικής γεωγραφικής θέσης της χώρας μας. Κατά συνέπεια ο κίνδυνος ενός σοβαρού ατυχήματος είναι μεγάλος για την Ελλάδα, η οποία έχει το προνόμιο να διαθέτει μερικά από τα ομορφότερα και πιο ενδιαφέροντα θαλάσσια και παράκτια οικοσυστήματα της Ευρώπης και να φιλοξενεί ορισμένα από τα πλέον απειλούμενα θαλάσσια είδη στον πλανήτη (όπως τη μεσογειακή φώκια Μονάχους Μονάχους και τη θαλάσσια χελώνα Καρέττα Καρέττα). Η κατάσταση επιδεινώνεται από την κυκλοφορία στις ελληνικές θάλασσες παλιών και κακοσυντηρημένων πλοίων ελλήνων πλοιοκτητών που δρουν ανεξέλεγκτοι πίσω από ξένες σημαίες, ακατάλληλων για τη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων. Στην Ελλάδα κίνδυνος σοβαρού ατυχήματος ελλοχεύει στις περιοχές γύρω από τα διυλιστήρια πετρελαίου (τα Ελληνικά Πετρέλαια λειτουργούν τρία (3) διυλιστήρια στην Ελλάδα: στον Ασπρόπυργο, στην Ελευσίνα και στη Θεσσαλονίκη. Αυτά καλύπτουν το 73% του δυναμικού διύλισης της χώρας, ενώ το υπόλοιπο 27% ανήκει στην Motor Oil Ελλάς, με τα διυλιστήρια Κορίνθου), στα μεγάλα εμπορικά λιμάνια και σε θαλάσσιες περιοχές με συχνές διελεύσεις πλοίων.

Η καλύτερη στρατηγική για να αποφευχθεί ένα τέτοιο γεγονός είναι η κατάλληλη μελέτη του φαινομένου της πετρελαιοκηλίδας και η προετοιμασία, μέσω ενός σχεδίου δράσης έκτακτης ανάγκης, το οποίο, σε περίπτωση πραγματικού ατυχήματος, θα συμβάλει στην έγκαιρη, οργανωμένη και αποτελεσματική αντιμετώπιση της πετρελαιοκηλίδας. Δεδομένης λοιπόν της έντονης ναυτιλιακής κίνησης στην Ελλάδα αλλά και των αρκετών ατυχημάτων που έχουν ήδη σημειωθεί κατά καιρούς σε διάφορα σημεία, κρίνεται αναγκαία η μελέτη εκτίμησης επικινδυνότητας των ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας. Ο κόλπος του Σαρωνικού, που περιλαμβάνει το μεγαλύτερο λιμάνι και την πρωτεύουσα της χώρας, αποτελεί δικαίως την πρώτη σε προτεραιότητα περιοχή μελέτης.

Ακολουθεί ο Πίνακας 2.1 με τα περιστατικά θαλάσσιας ρύπανσης που σημειώθηκαν σ' όλη τη χώρα κατά το έτος 2009.

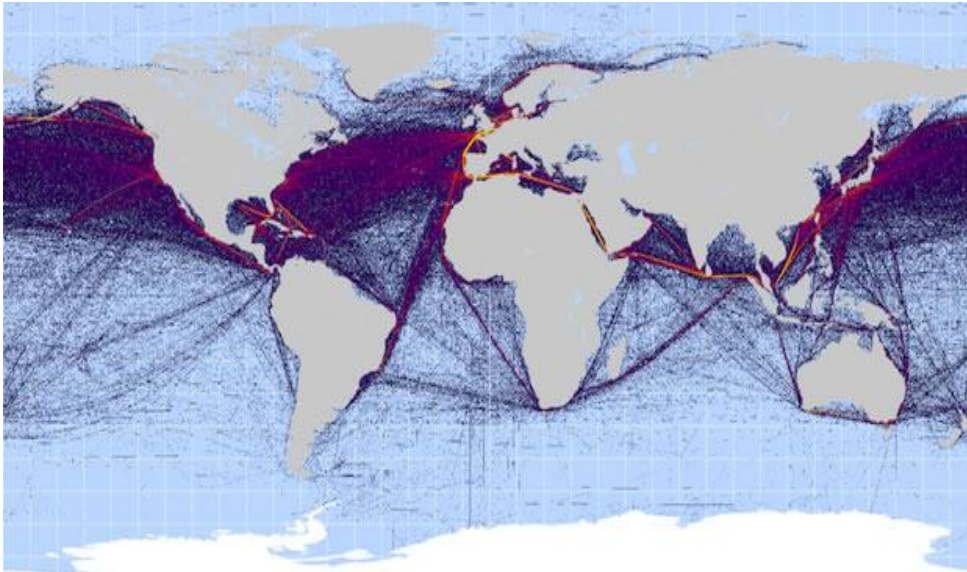
Πίνακας 2.1 Περιστατικά θαλάσσιας ρύπανσης στον ελληνικό χώρο το 2009 (Πηγή στοιχείων: Διεύθυνση Προστασίας Θαλασσιού Περιβάλλοντος, Υπουργείο Ναυτιλίας και Αιγαίου, <http://www.yen.gr/wide/home.html>)

ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2009		
ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΟΥ	ΕΙΔΟΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ
Πειραιάς	Πετρελαιοειδή	17
	Απόβλητα	2
	Απορρίμματα	2
Βόλος	Πετρελαιοειδή	2
	Απόβλητα	2
Ελευσίνα	Πετρελαιοειδή	6
	Απόβλητα	3
	Απορρίμματα	2
Ηράκλειο	Πετρελαιοειδή	1
	Απόβλητα	1
	Απορρίμματα	3
Ηγουμενίσα	Πετρελαιοειδή	1
Θεσσαλονίκη	Λύματα	4
Καβάλα	Πετρελαιοειδή	1
	Απόβλητα	4
	Απορρίμματα	2
Κέρκυρα	Απόβλητα	2
Μυτιλήνη	Απόβλητα	6
Πάτρα	Πετρελαιοειδή	1
Ρόδος	Πετρελαιοειδή	1
Χανιά	Απόβλητα	2
	Λύματα	3
Χίος	Πετρελαιοειδή	2
	Λύματα	6
Αίγινα	Λύματα	3
Ζάκυνθος	Απόβλητα	5
Ισθμια	Απόβλητα	1
Κάλυμνος	Λύματα	1
Πρέβεζα	Πετρελαιοειδή	1
	Λύματα	4
Κεφαλονιά	Λύματα	2
Κόρινθος	Απόβλητα	1
Λήμνος	Πετρελαιοειδή	2
Νάξος	Απόβλητα	1
Νεάπολη Βοιών	Πετρελαιοειδή	2
Ρέθυμνο	Λύματα	2
Σάμος	Απόβλητα	2
Σύρος	Πετρελαιοειδή	1
Αίγιο	Απόβλητα	5
Αλιβέρι	Πετρελαιοειδή	1
Αντικύθηρα	Πετρελαιοειδή	1
Ερμιόνη	Λύματα	1
Ιτέα	Απόβλητα	4
Μουδανιά	Λύματα	14
Σητεία	Απόβλητα	5
ΣΥΝΟΛΟ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ: 135		

2.1 Θαλάσσιες Μεταφορές και Πετρελαϊκή Ρύπανση

Οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν μαζί με τις χερσαίες μεταφορές και τις αερομεταφορές το παγκόσμιο δίκτυο μεταφορών, κατέχουν όμως το σημαντικότερο μερίδιο στις μεταφορές παγκοσμίως αποτελώντας το 70% του συνόλου των μεταφορών μεταξύ της Ευρωπαϊκής Ένωσης και του υπόλοιπου κόσμου. Η σημασία τους στην παγκόσμια οικονομία είναι μεγάλη και είναι προφανές ότι δεν πρόκειται για ένα απλό δίκτυο (Εικόνα 2.1) αλλά για ένα πολύπλοκο σύστημα με μεγάλο αριθμό εμπλεκόμενων φορέων στους οποίους καταλυτικό ρόλο διαδραματίζει ο ανθρώπινος παράγοντας, κάτι το οποίο τις καθιστά και μια εν δυνάμει υψηλού κινδύνου βιομηχανία. Η Ελληνική Ναυτιλία συγκεκριμένα, διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο και βρίσκεται στο επίκεντρο των παγκόσμιων εξελίξεων στις θαλάσσιες μεταφορές. Η υπό Ελληνική σημαία ναυτιλία παραμένει επί σειρά δεκαετιών στις κορυφαίες θέσεις των μεγαλύτερων ναυτιλιακών δυνάμεων του κόσμου, διατηρώντας το 5% της παγκόσμιας χωρητικότητας και κατατάσσεται στην 4^η θέση παγκοσμίως και 1^η μεταξύ των κρατών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπου κατέχει το 40% περίπου της συνολικής χωρητικότητας του εμπορικού στόλου της Ένωσης.

Η μεταφορά μέσω θαλάσσης αποτελεί, ανάμεσα από τη μεταφορά μέσω δικτύου αγωγών, το οδικό και το σιδηροδρομικό δίκτυο, το πιο σύνηθες αλλά και το σημαντικότερο μέσο μεταφοράς του πετρελαίου. Υπολογίζεται ότι το 62% του διεθνώς παραγόμενου πετρελαίου μεταφέρεται μέσω των θαλασσίων οδών και ότι 100 εκ. τόνοι πετρελαίου μεταφέρονται από δεξαμενόπλοια (tankers) κάθε μέρα. Έτσι λοιπόν προκύπτει το ζήτημα περί της ασφάλειας που θα πρέπει να διέπει τις θαλάσσιες μεταφορές. Όπως σε όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες, έτσι και εδώ, υπάρχει ο κίνδυνος των ατυχημάτων και λαμβάνοντας υπόψη τη φύση και την επικινδυνότητα του μεταφερόμενου φορτίου, η ανάγκη για αποφυγή αυτών των ατυχημάτων είναι μεγάλη. Ειδικότερα τα ναυτικά ατυχήματα που συνοδεύονται από εκτεταμένη ρύπανση του περιβάλλοντος, προκαλούν όχι μόνο ρωγμές στο οικονομικό σύστημα, αλλά προκαλούν και την αντίδραση της κοινής γνώμης, αναγκάζοντας τις κυβερνήσεις και τους διεθνείς οργανισμούς, μετά από κάθε σοβαρό ατύχημα, να λάβουν νέα, αυστηρότερα μέτρα.



Εικόνα 2.1 Παγκόσμιο δίκτυο θαλασσιών μεταφορών με πλοία (world shipping lanes) (πηγή: National Center of Ecological Analysis and Synthesis, NCEAS)

Η θαλάσσια ρύπανση που προκαλείται από την διαρροή πετρελαίου στη θάλασσα από τις θαλάσσιες μεταφορές αποτελεί και το αντικείμενο της μελέτης που παρατίθεται παρακάτω, καθώς το πετρέλαιο αποτελεί σύμφωνα με τον οργανισμό REMPEC (2008) την βασική αιτία της θαλάσσιας ρύπανσης γενικότερα (άλλες είναι: έρμα, χημικά, σκουπίδια, λύματα, αέριες εκπομπές, ραδιενεργά υλικά) και οι θαλάσσιες μεταφορές με τη σειρά τους μία από τις σημαντικότερες πηγές ρύπανσης από πετρέλαιο (άλλες είναι οι πόλεις-βιομηχανία και τα διυλιστήρια-πλατφόρμες). Οι δυσάρεστες συνέπειες που προκαλεί η πετρελαϊκή ρύπανση τόσο στο επίπεδο της παγκόσμιας οικονομίας αλλά και στο επίπεδο της ανθρώπινης ζωής καθιστούν την ασφάλεια στις θαλάσσιες μεταφορές ως θέμα μέγιστης σημασίας και ως ένα αντικείμενο καθημερινής μελέτης από την αρμόδια επιστημονική κοινότητα με στόχο την αντιμετώπισή της. Η διαρροή πετρελαίου στη θάλασσα μπορεί να γίνει με δύο τρόπους (Τριανταφύλλου, 2004):

- Μέσω ναυτικών ατυχημάτων
- Μέσω λειτουργικών διαδικασιών.

Τα ναυτικά ατυχήματα μπορεί να οφείλονται σε έντονες καιρικές συνθήκες, σε κακή συντήρηση του πλοίου καθώς και σε λανθασμένους χειρισμούς. Όταν πρόκειται για λειτουργικές διαδικασίες εννοείται οποιαδήποτε μορφή ρύπανσης που προξενεί στο θαλάσσιο περιβάλλον η συνήθης λειτουργία ενός εμπορικού πλοίου ή εργοστασίου. Η λειτουργική ρύπανση είναι δυνατό να αναζητηθεί για παράδειγμα σε κάθε φάση του κύκλου ζωής ενός πλοίου, δηλαδή στην αρχή (κατασκευή του πλοίου), στην κανονική οικονομική ζωή του (συντηρήσεις και επισκευές, φορτοεκφορτώσεις, μεταγίσεις καυσίμων, ερματισμός) και στο τέλος, κατά τη διάλυση του πλοίου και σε επίπεδο εργοστασίων κατά τη διάρκεια άντλησης πετρελαίου από το έδαφος ή κατά τη διάρκεια επεξεργασίας του.

Καθώς η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στη μελέτη των πετρελαϊκών ρυπάνσεων που προκαλούνται από ναυτικά ατυχήματα πλοίων στη θαλάσσια περιοχή του Σαρωνικού κόλπου, ακολουθεί μια αναλυτική περιγραφή της ρύπανσης λόγω ναυτικών ατυχημάτων και μια σύντομη περιγραφή της ρύπανσης λόγω λειτουργικών δραστηριοτήτων.

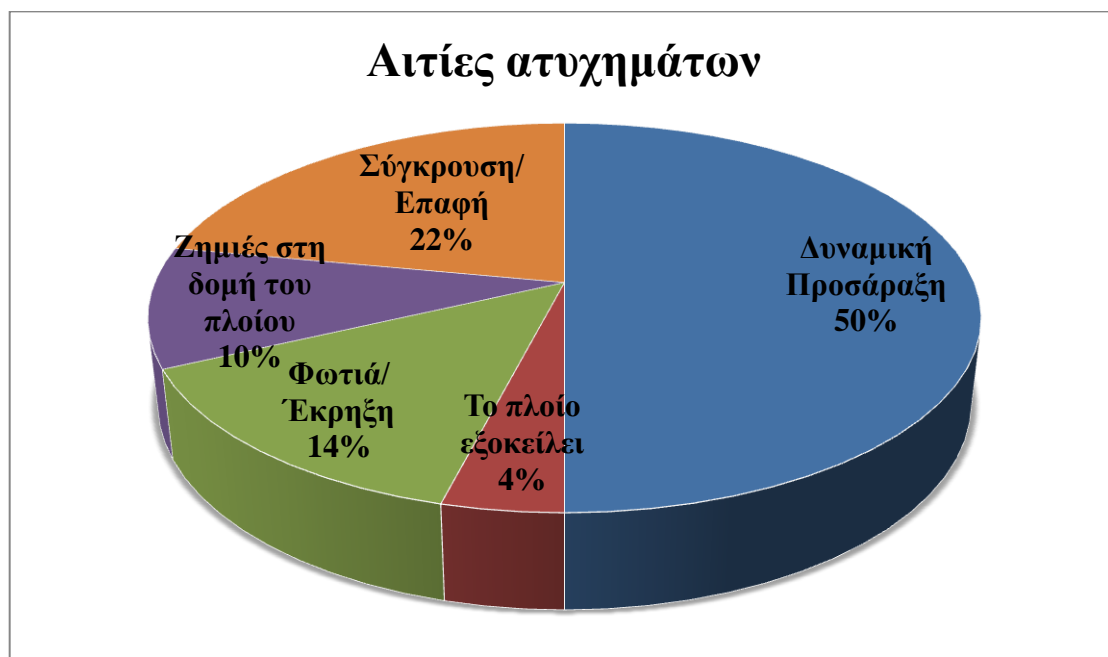
2.2 Ρύπανση λόγω ναυτικών ατυχημάτων

Η ρύπανση λόγω ναυτικών ατυχημάτων θα μπορούσε να πει κανείς ότι σε αντίθεση με τη λειτουργική, είναι η διάσημη, αυτή που όταν συμβαίνει γίνεται γνωστή στο ευρύτερο κοινό. Οι βασικότερες περιπτώσεις ναυτικών ατυχημάτων που συνήθως οδηγούν στην ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος είναι οι εξής (Τριανταφύλλου, 2004):

- Σύγκρουση ή επαφή πλοίου (Collision/Ramming). Σύγκρουση πλοίου με άλλο πλοίο ή με άλλα κυρίως σε θαλάσσιες περιοχές με συχνή κυκλοφορία (εσωτερικά ύδατα, αιγιαλίτιδες ζώνες, διεθνή στενά) ως αποτέλεσμα κυρίως ανθρώπινου λάθους. Επαφή πλοίου με μια μόνιμη εγκατάσταση πχ. προβλήτες λιμένων, πλατφόρμες εξόρυξης πετρελαίου.
- Δυναμική προσάραξη πλοίου (Power Grounding), ή όταν το πλοίο εξοκειλεί (Drift Grounding), συνήθως σε παράκτιες περιοχές με πυκνή κυκλοφορία εξαιτίας μηχανικής βλάβης, κακοκαιρίας, λανθασμένης πλοήγησης. Τα μεγάλα πλοία συχνά πέφτουν θύματα προσάραξης όταν βρίσκονται κοντά σε διεθνή στενά, κανάλια, κλπ., επειδή υπάρχει ελάχιστος χώρος για ελιγμούς.
- Πυρκαγιά/ Έκρηξη (Fire or Explosion) στις περιπτώσεις εκείνες που μεταφέρονται επικίνδυνα φορτία και το πλοίο δεν έχει άμεση βοήθεια από την πλησιέστερη ακτή.
- Βύθιση πλοίου (Foundering or Sinking) κυρίως στην ανοιχτή θάλασσα λόγω δυσμενών κλιματολογικών συνθηκών ή μετατόπισης φορτίου.
- Ζημιές στη δομή του πλοίου (Structural Failure) ιδιαίτερα στο εξωτερικό περίβλημα ή στα τοιχώματα των δεξαμενών λόγω κλιματολογικών συνθηκών, μετατόπισης φορτίου, κακής συντήρησης με προφανή συνέπεια τη μη αντοχή των υλικών.
- Απώλειες λόγω πολεμικών εχθροπραξιών (War Loss) ιδιαίτερα όταν τα εμπορικά πλοία έχουν επιταχθεί από την κυβέρνηση ενός κράτους για πολεμικούς σκοπούς και εμπλέκονται σε τέτοιου είδους γεγονότα.
- Διάφορα ατυχήματα (Miscellaneous) τα οποία περιλαμβάνουν: α) μικτές μορφές των παραπάνω, πχ πυρκαγιά και βύθιση, πρόσκρουση και βύθιση β) εσκεμμένη βύθιση πλοίου με τη μέθοδο του ανοίγματος οπών στα ύφαλα του πλοίου πιθανότατα για να μην περιέλθει το πλοίο στον έλεγχο του εχθρού ή την εξοικονόμηση χρημάτων, πχ από την ασφάλεια του γ) εξαφάνιση του πλοίου χωρίς αιτιολόγηση και δ) εγκατάλειψη του πλοίου.

Είναι ευνόητο ότι όσο μεγαλύτερες είναι οι ποσότητες του φορτίου που μεταφέρονται, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η προκαλούμενη ζημία στο θαλάσσιο περιβάλλον με όλες τις σχετικές συνέπειες. Ωστόσο δεν είναι μόνο τα ατυχήματα δεξαμενόπλοιων που προκαλούν θαλάσσια ρύπανση. Πολλά αλλά είδη πλοίων όπως πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (containers), πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου (bulk carriers) είναι πιθανό να μεταφέρουν μεγαλύτερες ποσότητες πετρελαίου στις αποθήκες καυσίμου σε σχέση με μικρά δεξαμενόπλοια που το μεταφέρουν ως φορτίο. Παρόλο που ατυχήματα και εκλύσεις πετρελαίου (bunker spills) από τέτοιου είδους πλοία είναι σχετικά μικρότερου μεγέθους, τελικά προκαλούν μεγαλύτερα προβλήματα, (συμπεριλαμβανόμενου τις μεγαλύτερες διεκδικήσεις αποζημιώσεων) σε σχέση με ανάλογου μεγέθους πετρελαιοκηλίδων από δεξαμενόπλοια (tankers). Συγκεκριμένα, σύμφωνα με στατιστικές, το 28% των πετρελαιοκηλίδων τα τελευταία 15 χρόνια οφείλονται σε διαρροές καυσίμων από τα προαναφερθέντα πλοία και όχι από δεξαμενόπλοια, ενώ τα τελευταία 2 χρόνια το ποσοστό αυτό έφτασε το 50%.

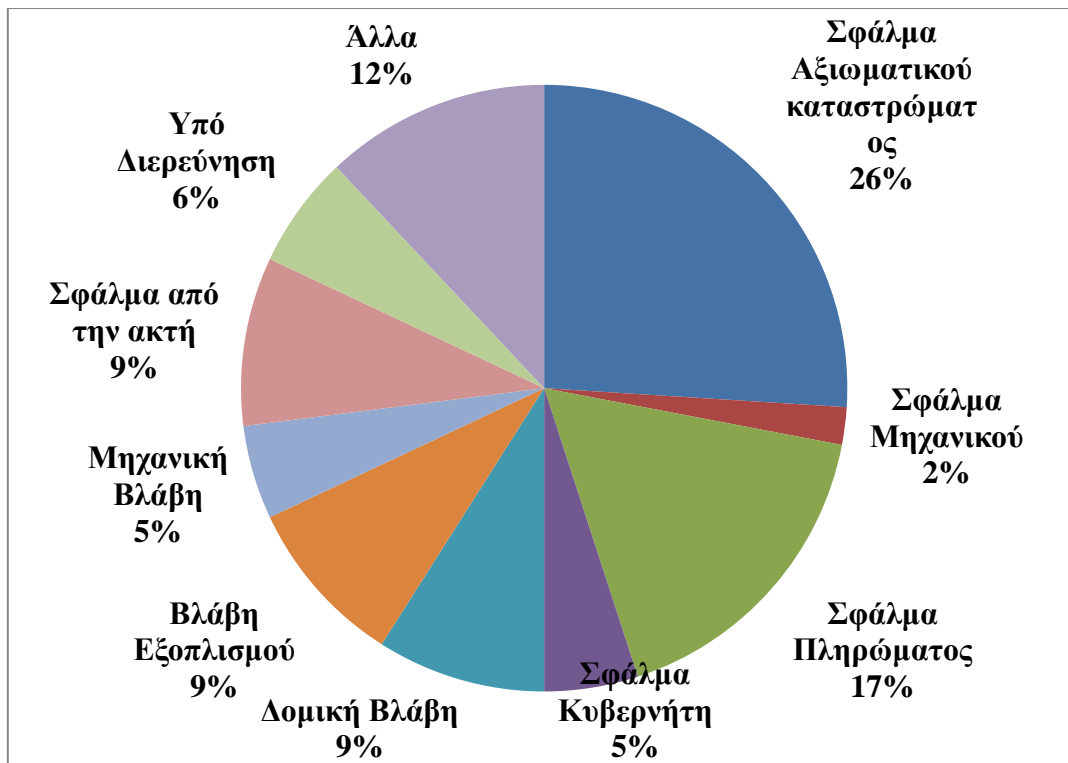
Στο Σχήμα 2.2 φαίνονται οι κυριότερες αιτίες ατυχημάτων που προκαλούν ρύπανση και τα αντίστοιχα ποσοστά τους.



Σχήμα 2.2 Κυριότερες Αιτίες Ατυχημάτων

Ο κυριότερος παράγοντας βέβαια, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την πρόκληση των παραπάνω αιτιών οι οποίες εν τέλει οδηγούν σε ατυχηματική ρύπανση είναι σύμφωνα με στατιστικές μελέτες ο ανθρώπινος παράγοντας (Σχήμα 2.3). Ακολουθούν οι τεχνικές/λειτουργικές συμπτώσεις άσχετες με το πλοίο και στη συνέχεια τα καιρικά φαινόμενα. Έτσι λοιπόν η ανθρώπινη κρίση και αντίδραση είναι πιο σημαντικό αίτιο πρόκλησης ατυχημάτων από ότι η ηλικία του πλοίου. Και αυτό διότι ένα πλοίο που πληρεί τις κατάλληλες προϋποθέσεις (τακτικές/έκτακτες συντηρήσεις, επιθεωρήσεις) και διαθέτει σωστά εκπαιδευμένο πλήρωμα, μπορεί να λειτουργήσει εξίσου σαν μια

νέα κατασκευή. Βέβαια έχουν παρατηρηθεί και φαινόμενα για ορισμένα πλοία ιδίως υπό καθεστώς χρονοναύλωσης, με προφανή σκοπό την εξοικονόμηση χρηματικών ωφελειών, να επιμηκύνεται ο μέγιστος χρόνος ζωής τους με άμεση συνέπεια τη ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος ενώ θα έπρεπε να είχαν ήδη αποσυρθεί.



Σχήμα 2.3 Ποσοστά ανθρώπινης και μηχανικής ευθύνης στα ναυτικά ατυχήματα (πηγή στοιχείων: Soares et al (2001), *Risk assessment in maritime transportation*)

2.3 Ρύπανση λόγω λειτουργικών δραστηριοτήτων

Ως λειτουργική ρύπανση θα ορίσουμε την οποιαδήποτε, μη ατυχηματικής μορφής ρύπανση, που προξενεί στο θαλάσσιο περιβάλλον η συνήθης λειτουργία ενός εμπορικού πλοίου. Η λειτουργική ρύπανση, είναι δυνατό να αναζητηθεί σε κάθε φάση του κύκλου ζωής ενός πλοίου, δηλαδή στην αρχή (κατασκευή του πλοίου), στην κανονική οικονομική ζωή του (συντηρήσεις και επισκευές, φορτοεκφορτώσεις, μεταγίσεις καυσίμων, ερματισμός) και στο τέλος, κατά τη διάλυση του πλοίου. Σε αντίθεση με την προηγούμενη, η ρύπανση αυτή αποκαλείται συχνά ως η «ήσυχη» ρύπανση, αφού συνήθως δεν γίνεται γνωστή ούτε επιβάλλονται οι ανάλογες κυρώσεις, ακόμα κι αν τα ποσοστά της ή οι συνέπειες της μπορεί να είναι μεγαλύτερες από την ρύπανση λόγω ναυτικών ατυχημάτων.

Η ρύπανση λόγω λειτουργικών δραστηριοτήτων περιλαμβάνει

- τη ρύπανση από τη ναυπηγοεπισκευαστική βιομηχανία, όπου αναφέρονται διαδικασίες όπως η ναυπήγηση του πλοίου, η τακτική και έκτακτη συντήρηση και η διάλυση των πλοίων
- τη ρύπανση από λειτουργικές απορρίψεις, όπου αναφέρονται διαδικασίες ερματισμού/αφερματισμού, φορτοεκφόρτωσης, εκούσιες απορρίψεις από τα πλοία (πετρελαιοειδή κατάλοιπα που παράγονται στους χώρους του μηχανοστασίου, κατάλοιπα φορτίου, λύματα και απορρίμματα του πλοίου, απορρίψεις φορτίου στη θάλασσα και χημικές ουσίες) και διαδικασίες πλύσης των δεξαμενών φορτίου.

Να σημειωθεί ότι τα περιστατικά πετρελαιοκηλίδας λόγω ατυχήματος αποτελούν μόνο το 5% της συνολικής μόλυνσης από το πετρέλαιο και συχνά αποσιωπάται η μόλυνση σε πολυσύχναστες θαλάσσιες διαδρομές λόγω γεωτρήσεων πετρελαίου ή παράνομων απορρίψεων (Alpers and Huhnerfuss, 1988; Pavlakis et al., 2001). Η ρύπανση που προκαλείται από τα πετρελαιοειδή τα οποία διαφεύγουν από τη φορτοεκφόρτωση στις χερσαίες εγκαταστάσεις φθάνει την ποσότητα του πετρελαίου που καταλήγει στη θάλασσα έπειτα από ναυτικά ατυχήματα. Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος, από τους 42.000 τόνους πετρελαίου που καταλήγουν κάθε χρόνο στα νερά της Μεσογείου οι 20.000 τόνοι προέρχονται από τις διαρροές των 60 διυλιστηρίων των χωρών της περιοχής. Και αυτές είναι μόνο οι ποσότητες οι οποίες καταγράφονται αφού, κατά τις εκτιμήσεις του Παγκόσμιου Ταμείου για τη Φύση, μόνο το 30% των απορρίψεων εντοπίζεται από τις αρχές.

Η διεθνής κοινότητα ανέλαβε την επίλυση των σοβαρών αυτών προβλημάτων εξελικτικά, με διάφορες συμβάσεις, τελική απόρροια των οποίων είναι η σύμβαση MARPOL η οποία εξετάζει όλες τις προαναφερόμενες μορφές 'λειτουργικής' ρύπανσης. Για παράδειγμα, η συνθήκη MARPOL 73/78 απαιτεί πλέον τη διακράτηση επάνω στα πλοία των υπολειμμάτων από τα καύσιμα και την απόρριψή τους σε ειδικές εγκαταστάσεις στην ξηρά για επεξεργασία. Η εμφάνιση σβόλων από πίσσα στα παράλια της Μεσογείου υποδηλώνει την παράνομη απόρριψη υπολειμμάτων καυσίμων από πλοία. Επίσης, διαρροές πετρελαίου και λιπαντικών συσσωρεύονται στα ύφαλα του πλοίου και έτσι τα νερά που βρίσκονται εκεί μολύνονται. Η συνθήκη MARPOL 73/78 απαιτεί την ύπαρξη ειδικών υποδοχών και εγκαταστάσεων στα λιμάνια για την επεξεργασία αυτών των νερών. Η συνθήκη περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω.

2.4 Περιγραφή των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στην πετρελαιοκηλίδα κατά την παρουσία της στο υδάτινο περιβάλλον

Η τύχη και η συμπεριφορά μιας ποσότητας πετρελαίου που έχει διαρρεύσει μπορεί να επηρεαστεί από εννέα φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες:

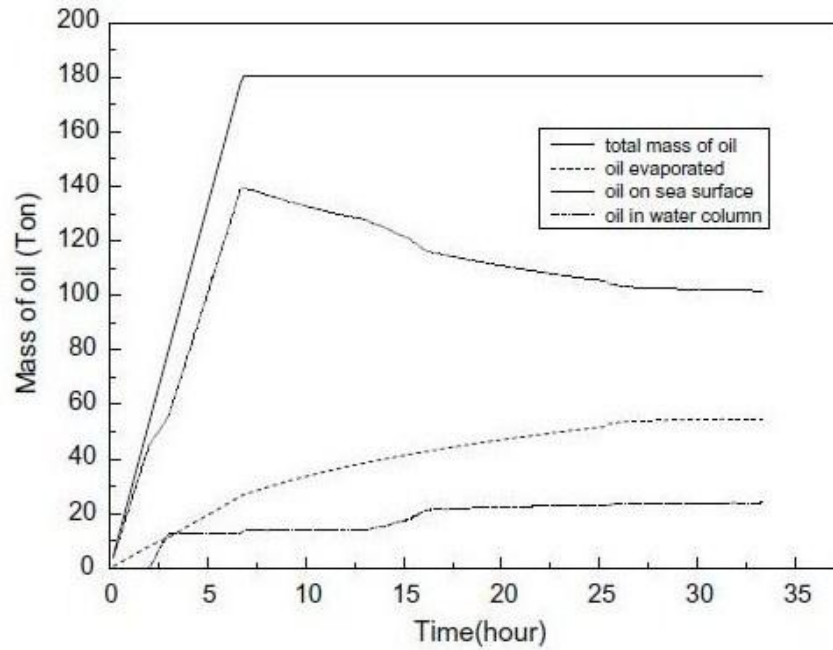
- μετατόπιση/μετακίνηση (advection)
- εξάπλωση (spreading)
- εξάτμιση (evaporation)
- διάλυση (dissolution)
- γαλακτωματοποίηση (emulsification)
- διασπορά (dispersion)
- οξείδωση (oxidation)
- βιοαποικοδόμηση (biodegradation)
- βύθιση/καθίζηση (ιζηματοποίηση) (sinking/sedimentation)

Το σύνολο αυτών των διεργασιών είναι γνωστό ως «γήρανση» ή «αποχρωματισμός» (weathering) του πετρελαίου και οι περισσότερες από αυτές περιγράφονται από μαθηματικά μοντέλα, τα οποία βασίζονται στο συγκεκριμένο διασποράς φυσικοχημικών και μετεωρολογικών παραμέτρων.

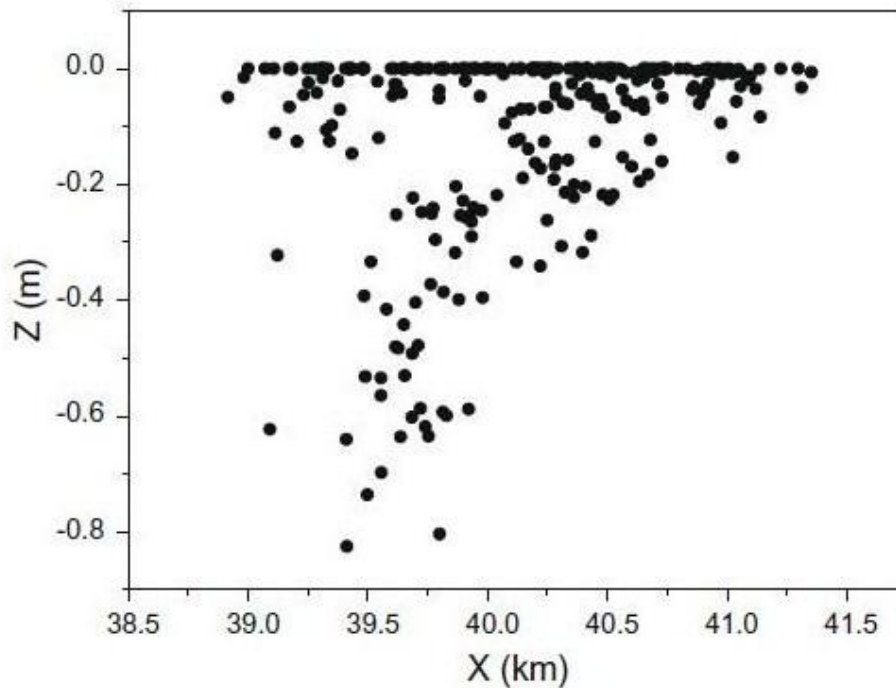
Οι διεργασίες της εξάπλωσης, της διασποράς, της διάλυσης και της γαλακτωματοποίησης είναι σημαντικές στα πρώτα στάδια ζωής της πετρελαιοκηλίδας. Αντίθετα η οξείδωση, η βιοαποικοδόμηση και η καθίζηση είναι μακροχρόνιες διαδικασίες.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι σύμφωνα με τη διεθνή εμπειρία, το ποσοστό πετρελαίου που μπορεί να ανακτηθεί από μια πετρελαιοκηλίδα, σπανίως ξεπερνάει το 10-12% της ποσότητας που χύθηκε στη θάλασσα. Το ποσοστό αυτό μάλιστα για να επιτευχθεί, απαιτούνται επίμονες, επίπονες και πολυέξοδες προσπάθειες.

Στην μελέτη των W.J. Guo et al (2009), παρατηρήθηκε πως περισσότερο από το 90% του χυμένου πετρελαίου παραμένει στα ανώτερα στρώματα του νερού (περίπου 0-3 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας), που σημαίνει ότι το νερό των ανώτερων στρωμάτων είναι η πιο μολυσμένη περιοχή κατά τις πρώτες ώρες ενός ατυχήματος πετρελαιοκηλίδας. Στο Σχήμα 2.4, της ίδιας μελέτης, φαίνεται το ισοζύγιο μάζας της πετρελαιοκηλίδας. Παρατηρείται ότι η εξάτμιση είναι η αρχική διαδικασία που περιλαμβάνει την απομάκρυνση του πετρελαίου από τη θάλασσα. Κατά τη διάρκεια της 1^{ης} μέρας, περίπου το 30% του πετρελαίου εξατμίζεται. Λόγω της διάλυσης και της διασποράς, περίπου το 13,3 % του πετρελαίου διαλύεται και διαχέεται στη μάζα του νερού. Στο Σχήμα 2.5 παρουσιάζεται η κατακόρυφη διασπορά των στοιχείων της πετρελαιοκηλίδας στη στήλη του νερού.



Σχήμα 2.4 Υπολογισμένο ισοζύγιο μάζας πετρελαιοκηλίδας (πηγή: Guo et al, 2009)



Σχήμα 2.5 Κατακόρυφη διασπορά των στοιχείων του πετρελαίου κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας μετά από 10 ώρες (πηγή: Guo et al, 2009)

Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή της κάθε διεργασίας.

α.) Μετατόπιση

Οι διεργασίες μετατόπισης/μετακίνησης συμπεριλαμβάνονται ουσιαστικά σε όλα τα μοντέλα προσομοίωσης συμπεριφοράς πετρελαιοκηλίδας εξαιτίας της κυρίαρχης και σταθερής επίδρασής τους στη θεμελιώδη συμπεριφορά της κηλίδας. Οι διεργασίες μετατόπισης κατηγοριοποιούνται σε αυτές που σχετίζονται με τον άνεμο και έχουν σαν αποτέλεσμα επιφανειακές μετατοπίσεις και σε αυτές που σχετίζονται με τα θαλάσσια ρεύματα και έχουν σαν αποτέλεσμα υποεπιφανειακές μετατοπίσεις. Ιδιαίτερη προσοχή έχει δοθεί στην επιφανειακή μετατόπιση λόγω της πλευστότητας της κηλίδας του πετρελαίου, αντίθετα με την υποεπιφανειακή μετατόπιση που δεν έχει μελετηθεί ανάλογα. Οι διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται στην επιφάνεια της κηλίδας και οφείλονται στο άνω οριακό στρώμα λόγω του αέρα και στο κάτω οριακό στρώμα λόγω του θαλάσσιου ρεύματος, αποτελούν γενικά τους μηχανισμούς που προκαλούν την μετακίνηση των επιφανειών της πετρελαιοκηλίδας.

β.) Εξάπλωση

Η πρώτη εμφανής διεργασία που αρχίζει με την είσοδο του πετρελαίου στη θάλασσα είναι η οριζόντια εξάπλωσή του υπό την συνδυασμένη επίδραση μεταξύ ιξώδους, επιφανειακής τάσης και βαρύτητας, ενώ παράλληλα μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου η σύσταση του πετρελαίου. Πετρέλαια με χαμηλό ιξώδες τείνουν να εξαπλωθούν γρηγορότερα. Η ταχύτητα εξάπλωσης καθορίζεται κυρίως από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες της περιοχής (ταχύτητα του ανέμου, υδάτινα ρεύματα, ύψος κύματος, θερμοκρασία επιφάνειας της θάλασσας), καθώς και από το πάχος της κηλίδας και τις ιδιότητες του πετρελαίου. Οι περισσότεροι τύποι αργού πετρελαίου σχηματίζουν με την εξάπλωση κηλίδες πάχους περίπου 0.3mm μέσα σε δώδεκα ώρες.

γ.) Εξάτμιση

Με τον όρο εξάτμιση εννοείται η διαδικασία μεταφοράς μέρους της μάζας του πετρελαίου από την κηλίδα στην ατμόσφαιρα. Η διαδικασία της εξάτμισης ξεκινά λίγες ώρες μετά την εισροή του πετρελαίου στη θάλασσα και ο ρυθμός της εξαρτάται από την χημική σύσταση του πετρελαίου, την ταχύτητα του ανέμου και την επιφανειακή θερμοκρασία. Μια 'παχιά' πετρελαιοκηλίδα παρουσιάζει πιο αργό ρυθμό εξάτμισης σε σχέση με μία μικρότερου πάχους. Ισχυροί άνεμοι όπως είναι αναμενόμενο εντείνουν το φαινόμενο της εξάτμισης και ο κυματισμός (διατάραξη της θάλασσας) επίσης ενισχύει την εξάτμιση καθώς διαχωρίζει το διαρρέον πετρέλαιο σε σταγόνες και το απομακρύνει από τον κύριο όγκο της πετρελαιοκηλίδας. Πετρελαιοειδή με μεγαλύτερα ποσοστά ελαφριών και πτητικών ενώσεων όπως η βενζίνη, το καύσιμο diesel, η κηροζίνη και η γκαζολίνη τείνουν να εξατμιστούν γρηγορότερα. Θεωρείται ότι τα συστατικά του πετρελαίου με σημείο βρασμού μικρότερο των 200°C εξατμίζονται μέσα στις πρώτες 24 ώρες έναρξης της ρύπανσης.

Τα περισσότερα είδη αργού πετρελαίου λοιπόν έχουν χάσει μέσα σε 24 ώρες το 25-30% των ελαφρύτερων συστατικών τους. Η εξάπλωση της κηλίδας ευνοεί την εξάτμιση καθώς το πάχος αυτής μειώνεται και η επιφάνειά της αυξάνεται. Η εξάτμιση, η οποία διαρκεί περίπου μία βδομάδα, προκαλεί αύξηση της πυκνότητας και του ιξώδους της κηλίδας. Στη συνέχεια οδηγούμαστε στη διαδικασία της γαλακτωματοποίησης και της πήξης, όπου ελαττώνεται η επιφάνεια (εμβαδόν) της πετρελαιοκηλίδας και ο ρυθμός εξάτμισης αυτής.

Το αργό πετρέλαιο συγκεκριμένα αποτελεί ένα μίγμα από αδιάλυτους υδρογονάνθρακες με ειδικό βάρος μικρότερο του νερού με αποτέλεσμα να εξαπλώνεται ταχύτατα στην θαλάσσια επιφάνεια. Με την πάροδο κάποιων ωρών ή ημερών τα ελαφρά κλάσματα πετρελαίου αρχίζουν να εξατμίζονται ενώ τα βαριά σχηματίζουν πηχάκια τα οποία παραμένουν στην επιφάνεια και παρασύρονται σε κάποια ακτή ή αποικοδομούνται με το πέρασμα του χρόνου από μικροοργανισμούς.

Στην περίπτωση που έχουμε μεγάλης έκτασης πετρελαιοκηλίδα, το φαινόμενο της εξάτμισης είναι ο σημαντικότερος φυσικός παράγοντας που συμβάλει στην απομάκρυνσή της από την επιφάνεια της θάλασσας. Βέβαια το πετρέλαιο που εξατμίζεται από τη θάλασσα εξακολουθεί να υπάρχει στην ατμόσφαιρα και ένα μέρος αυτού επιστρέφει πάλι μέσω των βροχών.

δ.) Διάλυση

Η μεταφορά πετρελαίου διαμέσου στήλης νερού μπορεί να πραγματοποιηθεί από μηχανισμούς όπως η διάλυση, η διασπορά και η ιζηματοποίηση. Η διάλυση είναι μια διεργασία που για τους ελαφρούς υδρογονάνθρακες 'ανταγωνίζεται' την εξάτμιση. Τα αποτελέσματα της διάλυσης όμως είναι τελείως διαφορετικά από εκείνα της εξάτμισης, διότι οι υδρογονάνθρακες πετρελαίου που εισέρχονται στην υδάτινη φάση, είναι δυνατό να προσληφθούν από διάφορους θαλάσσιους οργανισμούς, σε αντίθεση με εκείνους που εξατμίζονται, με αποτέλεσμα να απομακρύνονται από το θαλάσσιο περιβάλλον. Η διάλυση του πετρελαίου στο νερό συμβαίνει σε μικρή κλίμακα και αφορά μόνο τα ελαφρά συστατικά. Τα βαριά συστατικά είναι πρακτικά αδιάλυτα ενώ οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες (βενζόλιο, τολουόλιο) είναι ελάχιστα διαλυτοί. Όπως συμβαίνει και με την εξάτμιση, η διάλυση των υδρογονανθράκων του πετρελαίου εξαρτάται από τον αριθμό των ατόμων C. Στην περίπτωση επομένως μείγματος διαφόρων ενώσεων, το φαινόμενο της διάλυσης γίνεται πιο περίπλοκο. Οι απώλειες σε όγκο του πετρελαίου λόγω της διάλυσης είναι ελάχιστες καθώς οι περισσότεροι τύποι του παρουσιάζουν μικρή διαλυτότητα στο νερό και επίσης εκείνα τα συστατικά που μπορούν να διαλυθούν στο νερό απομακρύνονται μέσω της εξάτμισης, η οποία κατά κανόνα προηγείται της διάλυσης. Η παρουσία τέλος μεταλλικών αλάτων στο θαλασσινό νερό (περίπτωση Μεσογείου) επιβραδύνει περαιτέρω την ήδη αργή διαδικασία της διάλυσης.

ε.) Γαλακτωματοποίηση

Το πετρέλαιο που διαρρέει στην επιφάνεια της θάλασσας μπορεί υπό συνθήκες έντονου κυματισμού και μεγάλης ταχύτητας ανέμου να διασπαστεί σε σταγονίδια που παρασύρονται από τον άνεμο χωρίς να προσβληθεί η χημική τους σύσταση. Η διαδικασία αυτή αποτελεί τη λεγόμενη γαλακτωματοποίηση του πετρελαίου στο νερό (oil-in-water emulsion), στην οποία το γαλάκτωμα που διαμορφώνεται είναι πολύ πιο επίμονο από το αρχικό πετρέλαιο και έχει πολύ μεγαλύτερο ιξώδες. Στην περίπτωση της γαλακτωματοποίησης 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. Πολλοί τύποι αργού πετρελαίου έχουν την τάση να απορροφούν νερό σχηματίζοντας γαλακτώματα νερού πετρελαίου με αύξηση του όγκου του ρυπαντή κατά 3 με 4 φορές. Το ποσοστό του νερού στο γαλάκτωμα μπορεί να φτάσει το 75-80%. Καθώς το ποσοστό αυτό αυξάνεται, το χρώμα του γαλακτώματος μεταβάλλεται μεταξύ μαύρου, κόκκινου και πορτοκαλί. Τα γαλακτώματα πετρελαίου στο νερό αποτελούνται από σωματίδια διαμέτρου από 5μm μέχρι μερικά χιλιοστά, τα οποία μεταφέρονται μέσω των κυμάτων σε μεγάλες αποστάσεις και τελικά είτε διαλύονται στο νερό, είτε βιοδιασπώνται είτε εναποτίθενται στα ιζήματα, φαινόμενο επικίνδυνο για τους βενθικούς οργανισμούς.

στ.) Διασπορά

Η διασπορά είναι ο σημαντικότερος μηχανισμός κατά τη διάρκεια της πρώτης εβδομάδας γήρανσης της πετρελαιοκηλίδας. Τα κύματα και οι διάφοροι στροβιλισμοί στην επιφάνεια της θάλασσας δημιουργούν σταγονίδια πετρελαίου διαφόρων μεγεθών. Οι μεγάλες σταγόνες επιστρέφουν στην επιφάνεια όπου είτε συσσωματώνονται με άλλες και ξαναδημιουργούν κηλίδα, είτε εξαπλώνονται δημιουργώντας λεπτό υμένιο. Αυτές οι σταγόνες κατά τη διασπορά τους σχηματίζουν ασταθή γαλακτώματα πετρελαίου νερού. Οι μικρές σταγόνες από την άλλη αιωρούνται, αναμιγνύονται με το νερό και ξεκινά η βιοδιάσπαση και η καθίζηση. Ο ρυθμός της φυσικής διασποράς και της εξάτμισης καθορίζουν το χρόνο ζωής μιας πετρελαιοκηλίδας.

ζ.) Οξειδωση

Η χημική αντίδραση του οξυγόνου με τους υδρογονάνθρακες πετρελαίου ονομάζεται οξειδωση. Συμβαίνει στην επιφάνεια της θάλασσας και επιταχύνεται μετά την εξάπλωση του πετρελαίου και την δημιουργία λεπτών στρωμάτων (φιλμς) κηλίδων. Όταν έχουμε ταυτόχρονη παρουσία ηλιακής ακτινοβολίας τότε γίνεται λόγος για το φαινόμενο της φωτοχημικής οξειδωσης (φωτοοξειδωση). Αυτή εξαρτάται από το πάχος του υμενίου. Σε ιδανικές συνθήκες θάλασσας και υπό την επίδραση ισχυρού ηλιακού φωτός, θεωρείται ότι ο ρυθμός φωτοοξειδωσης μπορεί να ανέλθει στο 0,1% ανά ημέρα. Η φωτοοξειδωση παχέων στρωμάτων μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ενώσεων μεγάλου μοριακού βάρους με μεγάλους χρόνους ζωής. Έτσι σχηματίζονται κομμάτια πίσσας μαύρου χρώματος με σκληρό εξωτερικό περίβλημα.

Η φωτοοξειδωση των υδρογονανθράκων πετρελαίου εξαρτάται από τη χημική τους σύσταση, τη θερμοκρασία και το ηλιακό φως. Να αναφερθεί ότι οι διεργασίες της φωτοχημικής οξειδωσης δεν έχουν μελετηθεί πλήρως και σε βάθος.

η.) Βιοαποικοδόμηση

Η βιοαποικοδόμηση (ή βιοδιάσπαση) του πετρελαίου γίνεται από βακτήρια, μικρόβια και άλλους μικροοργανισμούς που περιέχονται στο θαλασσίνο νερό και μετασχηματίζουν τη δομή του, υποβιβάζοντάς το τελικά σε οξείδια του άνθρακα και νερό. Ο ρυθμός της βιοδιάσπασης εξαρτάται κυρίως από την θερμοκρασία, τον τύπο του πετρελαίου, τα επίπεδα αζώτου και φωσφόρου στο νερό και την διαθεσιμότητα του οξυγόνου, χωρίς την παρουσία του οποίου η βιοδιάσπαση είναι αδύνατη. Η διεργασία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο στην διεπιφάνεια πετρελαίου-νερού, δεδομένου ότι το οξυγόνο δεν είναι διαθέσιμο σε επαρκείς ποσότητες μέσα στο ίδιο το πετρέλαιο και ενισχύεται καθώς προχωρούν οι υπόλοιπες διαδικασίες της γήρανσης. Λόγω της μικρής περιεκτικότητας των νερών της Μεσογείου σε άζωτο και φώσφορο, στοιχεία απαραίτητα για τη βιοδιάσπαση, οι ποσότητες που βιοδιασπώνται τελικά είναι πολύ μικρές. Συγκεκριμένα, έχει εκτιμηθεί ότι υπό ιδανικές καιρικές συνθήκες στη λεκάνη της Μεσογείου ο ρυθμός της βιοδιασπώμενης ποσότητας πετρελαιοειδών δεν μπορεί να ξεπεράσει το ένα γραμμάριο ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας ρυπογόνου.

Τουλάχιστον 90 είδη από θαλάσσιους μικροοργανισμούς και μύκητες, καθώς και κάποια είδη φυκιών, είναι ικανά να βιοαποικοδομήσουν ορισμένα συστατικά του πετρελαίου. Η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται από μια σειρά περιβαλλοντικών παραμέτρων όπως επίσης και από την ποσότητα των οργανικών ουσιών στο θαλασσίνο νερό, των θρεπτικών συστατικών, των αιωρούμενων σωματιδίων και του διαλυμένου οξυγόνου, ενώ το φαινόμενο δεν είναι έντονο στα βαθιά νερά των ωκεανών όπου επικρατεί έλλειψη φωτός και οξυγόνου και χαμηλές θερμοκρασίες.

θ.) Καθίζηση

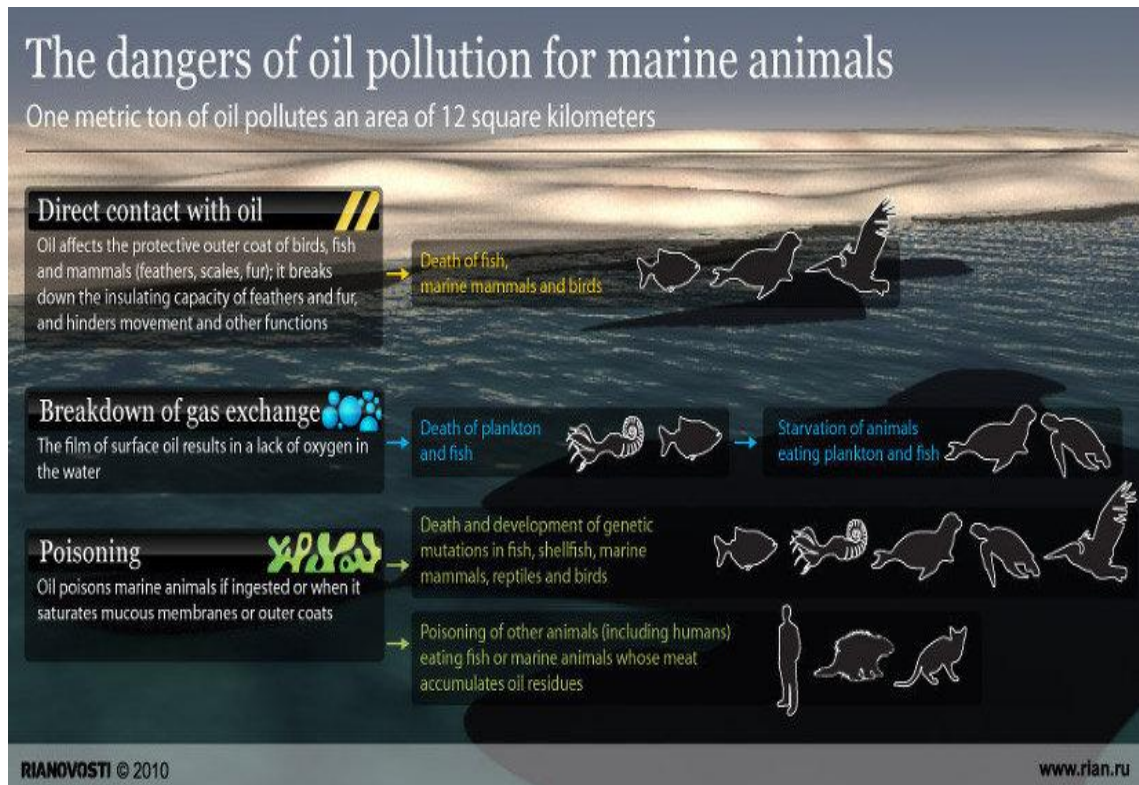
Οι διαδικασίες της γήρανσης που αυξάνουν την πυκνότητα του πετρελαίου μπορεί να οδηγήσουν ορισμένα βαριά κλάσματα στη βύθιση. Συχνή αιτία βύθισης είναι η προσκόλληση ιζημάτων και άλλων οργανικών ουσιών ή και άμμου σε ρηχές θάλασσες με αμμώδη βυθό.

Στις περιπτώσεις που έχουμε χρήση χημικών απορρυπαντικών μέσων για την καταπολέμηση μιας πετρελαιοκηλίδας, το πετρέλαιο διεισδύει κατά μεγάλο βαθμό ανάμεσα στους κόκκους των ιζημάτων. Εισχωρώντας βαθιά μέσα στο ίζημα, το πετρέλαιο παραμένει σταθερό, διότι δεν έρχεται σε επαφή με το επιφανειακό στρώμα που περιέχει οξυγόνο και έτσι λόγω αναερόβιων συνθηκών δεν συμβαίνει βιοδιάσπαση. Έτσι έχουμε την παραμονή του εκεί για εκατομμύρια χρόνια με τη μορφή απολιθωμάτων.

2.5 Επιπτώσεις πετρελαιοκηλίδας

Τα ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας θυμίζουν τις δραματικές επιπτώσεις που μπορεί να έχει το πετρέλαιο στο περιβάλλον, κάτι που καθιστά ακόμα πιο αναγκαία την ύπαρξη μιας μελέτης εκτίμησης της επικινδυνότητας ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας και την ύπαρξη ενός σχεδίου δράσης σε περίπτωση πραγματικού ατυχήματος. Γι' αυτό το λόγο παρουσιάζονται παρακάτω οι επιπτώσεις που μπορεί να έχει μια πετρελαιοκηλίδα τόσο σε περιβαλλοντικό όσο και σε οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο.

Συγκεκριμένα, το πετρέλαιο είναι ελαφρύτερο από το νερό και γι' αυτό επιπλέει στην επιφάνειά του. Καθώς λοιπόν το στρώμα των πετρελαιοειδών έρχεται σε επαφή με τη θάλασσα και εγκαθίσταται στην επιφάνειά της, μειώνεται η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό και το πετρέλαιο έχει καταστροφικές συνέπειες στην υδρόβια ζωή επιδρώντας άμεσα και τοξικά. Συγκεκριμένα, εμποδίζει το φυτοπλαγκτόν να φωτοσυνθέσει, θανατώνονται τα αυγά και οι προνύμφες των ψαριών, τα ψάρια πεθαίνουν από ασφυξία καθώς το πετρέλαιο μπαίνει στα βράγχια τους ενώ μεγάλα θύματα αποτελούν και τα πουλιά, τα οποία ή καταπίνουν το πετρέλαιο και πεθαίνουν ή όταν το πετρέλαιο καλύψει τα φτερά τους αφού έρθουν σε επαφή με αυτό, καταστρέφεται η μονωτική τους ικανότητα με αποτέλεσμα να βυθίζονται ή να πεθαίνουν από το κρύο. Καταστροφικές είναι οι συνέπειες του πετρελαίου και για τα οστρακοειδή, τα μαλάκια, τα θηλαστικά και τις χελώνες που ζουν στις θάλασσες (Εικόνα 2.2). Ιδιαίτερα γνωστές είναι οι αρνητικές επιπτώσεις της πετρελαιοκηλίδας του Exxon Valdez στην Αλάσκα στους πληθυσμούς πάπιας και της BP στον κόλπο του Μεξικού στους πελεκάνους της περιοχής. Συγκεκριμένα, κατά την εξέταση των αυγών πελεκάνου στη μεγαλύτερη αποικία τους στη Β. Αμερική, οι επιστήμονες ανακάλυψαν ίχνη ενώσεων πετρελαίου, καθώς και υπολείμματα από το Corexit, ένα χημικό που χρησιμοποιείται για την διάλυση της πετρελαιοκηλίδας. Σύμφωνα με την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος, το Corexit περιέχει καρκινογόνες ουσίες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν με αυξητικές ορμόνες κατά τη διάρκεια της εμβρυακής ανάπτυξης και αν προστεθεί σ αυτό το γεγονός ότι το 80% των αυγών περιέχει Corexit και ενώσεις πετρελαίου, τότε τα αποτελέσματα είναι ανησυχητικά (πηγή: atheatignosi.blogspot.gr/2012/05/bp-2.html).



Εικόνα 2.2 Ο τρόπος που οι πετρελαιοκηλίδες επηρεάζουν τη θαλάσσια ζωή και τροφική αλυσίδα (πηγή: en.ria.ru/infographics/20100505/158885245.html)

Οι συνέπειες κορυφώνονται όταν η πετρελαιοκηλίδα καταλήξει στις ακτές, καταστρέφοντας όχι μόνο την χλωρίδα και την πανίδα των περιοχών αυτών, αλλά πλήττοντας ακόμα την αλιεία και τον τουρισμό τους. Πρόκειται τότε δηλαδή για τις λεγόμενες κοινωνικές-οικονομικές επιπτώσεις. Οι ίδιες αναφέρονται πιο συγκεκριμένα στο θαλάσσιο περιβάλλον, στις παράκτιες περιοχές, στη δημόσια υγεία, στην αλιεία, στον τουρισμό, στους ενεργειακούς πόρους, στο έμψυχο υλικό, στο κόστος απομάκρυνσης του πετρελαίου και καθαρισμού της περιοχής, στο κόστος πιθανής απώλειας πλοίου και τέλος φυσικά στην αισθητική του τοπίου.

Η αντιμετώπιση των πετρελαιοκηλίδων γενικά είναι μια περίπλοκη, χρονοβόρα και αρκετά δαπανηρή διαδικασία, όπως αναλύεται στην παράγραφο 2.5.1.



Εικόνα 2.3 Από την πετρελαιοκηλίδα της BP στον κόλπο του Μεξικού (πηγή: gtoil.blogspot.gr/2011_07_01_archive.html)

2.5.1 Κόστος καθαρισμού από πετρέλαιο

Μια πετρελαιοκηλίδα έχει και συνέπειες οικονομικού χαρακτήρα. Η αντιμετώπιση των πετρελαιοκηλίδων, κατά την τελευταία δεκαετία, έχει γίνει ολοένα πιο περίπλοκη, χρονοβόρα και δαπανηρή.

Υπάρχει διεθνής συμφωνία ότι ‘ο ρυπαίνων πληρώνει’ με το να αναλαμβάνει το κόστος της επιχείρησης καθαρισμού, το οποίο είναι αρκετά σύνθετο και εκτείνεται πέρα από τις καθ’ αυτές ενέργειες καθαρισμού. Οι παράγοντες που εμπλέκονται είναι πολλοί αλλά οι περισσότεροι ειδικοί συμφωνούν ότι ο καθοριστικότερος παράγοντας για το κόστος είναι ο τόπος του περιστατικού. Στα περιστατικά στα οποία το πετρέλαιο πλήττει τις ακτές, το 90%-99% του κόστους καθαρισμού και αποκατάστασης σχετίζεται με τον καθαρισμό των ακτών.

Σε πολλές περιπτώσεις η έντονη πίεση που ασκείται από το κοινωνικό σύνολο, οργανώσεις και πολιτεία στους υπευθύνους για άμεσες, δραστικές και δαπανηρές μεθόδους καθαρισμού, δεν έχουν το καλύτερο αποτέλεσμα στην προστασία του περιβάλλοντος, ακόμα και αν αυτή η πίεση γίνεται με καλό σκοπό.

Το Ενδεχόμενο Κόστος Πετρελαιοκηλίδας περιλαμβάνει ενδεικτικά τα εξής:

- Κόστος Ατυχήματος
- Κόστος Συμπλήρωσης Αναφοράς Περιστατικού
- Αρχικό Κόστος Καθαρισμού
- Μηχανικά Μέσα Περιορισμού και Κόστος Καθαρισμού
- Κόστος Χρήσης Διασκορπιστικών Ουσιών
- Κόστος Μεθόδου Φυσικής Αποικοδόμησης (Bioremediation)
- Κόστος Τεχνικής Επί-Τόπου Καύσης (In-Situ Burning)
- Κόστος Μηχανικού Καθαρισμού Ακτών
- Πρόσθετο Κόστος για οποιαδήποτε Μέθοδο
- Κόστος Αποκατάστασης Χλωρίδας και Πανίδας
- Κόστος Αποκατάστασης λόγω Καταστροφής Φυσικών Πόρων

- Κόστος Έρευνας
- Περιουσιακές, Οικονομικές, Περιβαλλοντολογικές Αποζημιώσεις
- Πρόστιμα και Ποινές

Να αναφερθεί ενδεικτικά ότι στο ατύχημα Sea Empress, ο καθαρισμός 72361 τόνων τον Φεβρουάριο του 1996 στο Milford Haven, Ηνωμένο Βασίλειο, υπολογίζεται ότι κόστισε συνολικά \$18.324.000 ή \$253,23/τόνο. Μια ανάλυση του κοστολογίου της κυβέρνησης της Αγγλίας φανερώνει ότι \$925515 δαπανήθηκαν για εναέριο ψεκάσμο διασκορπιστικών ουσιών και παρακολούθηση, \$888,494 για τη διάθεση των χημικών, \$3.638.114 για τη χρήση των απορρυπαντικών σκαφών, \$2.818.613 για τον εξοπλισμό και τα έξοδα προσωπικού, \$5.921.611 για την απορρύπανση των ακτών, \$631033 κόστισε η επιστημονική υποστήριξη, ενώ \$259144 ήταν τα πρόσθετα κόστη λειτουργιών και \$2.257.065 τα πρόσθετα έξοδα της επιχείρησης καθαρισμού. Αντίστοιχα στο ατύχημα Aegean Sea τον Δεκέμβριο του 1992, για πετρελαιοκηλίδα 74490 τόνων στην La Coruna της Ισπανίας, δαπανήθηκαν συνολικά \$8.555.960 ή \$114,86/τόνο (Τριανταφύλλου, 2004).

2.6 Τρόποι αντιμετώπισης πετρελαϊκής ρύπανσης

Είναι σαφές πως η καλύτερη στρατηγική για την αντιμετώπιση της ρύπανσης είναι αυτή της πρόληψης. Εάν όμως το ατύχημα της πετρελαιοκηλίδας τελικά συμβεί, πρέπει να εφαρμοστούν μέθοδοι που θα περιορίσουν τη ρύπανση και θα εμποδίσουν όσο το δυνατόν τις ζημιές στο φυσικό και ανθρώπινο περιβάλλον. Κύριος στόχος σε περίπτωση πετρελαιοκηλίδας, είναι αυτή να αντιμετωπιστεί στην πηγή της και να εμποδιστεί η περαιτέρω διαρροή, ενώ το σημαντικότερο είναι να μην φτάσει να πλήξει τις ακτές. Έτσι οι ενέργειες καθαρισμού από το πετρέλαιο μπορούν να διαχωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες- στις ενέργειες απορρύπανσης της θάλασσας και στις ενέργειες απορρύπανσης των ακτών, εφόσον προσβληθούν και αυτές. Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά οι κλασικοί μέθοδοι που υπάρχουν για την αντιμετώπιση της πετρελαϊκής ρύπανσης στη θάλασσα και στις ακτές.

2.6.1. Καθαρισμός της θάλασσας

α.) Μηχανικός Καθαρισμός

Οι μέθοδοι στηρίζονται στη συγκέντρωση και την ανάκτηση του πετρελαίου από την επιφάνεια της θάλασσας. Είναι γενικά διαδεδομένη τεχνική στην πρώτη φάση μιας αντιρρυπαντικής επιχείρησης καθαρισμού. Οι μέθοδοι αυτοί απαιτούν τεχνική υποστήριξη και συνήθως την επένδυση μεγάλου χρηματικού κεφαλαίου, ενώ η απόδοσή τους επηρεάζεται έντονα από τις καιρικές συνθήκες και είναι σημαντικό να προβλεφθεί σωστά η εξέλιξη πολλών παραμέτρων.

Στον μηχανικό καθαρισμό συνήθως χρησιμοποιούνται:

i.) Φράγματα (barriers/booms): Τα φράγματα είναι συσκευές (πλωτά φράγματα) που έχουν ειδικά κατασκευαστεί για τον έλεγχο της κίνησης του πετρελαίου στην επιφάνεια της θάλασσας. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εγκλωβισμό, τη συγκέντρωση και την κατεύθυνση κηλίδων πετρελαίου. Οι κυριότεροι αντικειμενικοί σκοποί για τους οποίους χρησιμοποιούνται είναι για τη συγκέντρωση του πετρελαίου ώστε να διευκολυνθεί η ανάκτηση από τις κατάλληλες συσκευές και για να προστατεύσουμε ορισμένες περιοχές των ακτών από πετρέλαιο που διέρρευσε ή επανέπλευσε στην επιφάνεια της θάλασσας

ii.) Πετρελαιοσυλλέκτες (skimmers): Οι πετρελαιοσυλλέκτες είναι κάθε μηχανική συσκευή που έχει ειδικά κατασκευαστεί για να συλλέγει το πετρέλαιο (ή το μίγμα νερού/πετρελαίου) από την επιφάνεια της θάλασσας, χωρίς να αλλάζουν τα φυσικά ή και τα χημικά χαρακτηριστικά του. Υπάρχουν δύο τύποι, οι μηχανικοί πετρελαιοσυλλέκτες και οι ελαιόφιλοι πετρελαιοσυλλέκτες. Υπάρχουν τέλος και τα φράγματα περισυλλογής που είναι συνδυασμός φράγματος και πετρελαιοσυλλέκτη.

iii.) Σκάφη Περισυλλογής (skimmer vessels): Είναι σκάφη ειδικού τύπου που έχουν προσαρμοσμένη με ειδική σχεδίαση κάποιο τύπο συσκευής περισυλλογής και χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση του επιφανειακού στρώματος του ρύπου από τη θάλασσα.

iv.) Απορροφητικά Υλικά (sorbents): Τα απορροφητικά είναι υλικά που χρησιμοποιούν απορροφητικές ή προσκολλητικές ιδιότητες προκειμένου να περισυλλέξουν ρευστά. Τα απορροφητικά υλικά είναι ειδικά σχεδιασμένα για να περισυλλέγουν πετρέλαιο από την επιφάνεια του νερού.

β.) Χημικός Καθαρισμός

Σε περιπτώσεις που οι καιρικές συνθήκες είναι δύσκολες, τα μηχανικά μέσα είναι πιθανό να μην είναι αποτελεσματικά, επομένως ο συνδυασμός μηχανικών μέσων και χημικών είναι πολύ χρήσιμος, καθώς τα χημικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στις περιπτώσεις εκείνες για να καταστήσουν ευκολότερη την ανάκτηση του ρύπου με μηχανικά μέσα. Ο χημικός καθαρισμός περιλαμβάνει:

i.) Χημικές Διασκορπιστικές Ουσίες (Dispersants): είναι μίγματα στα οποία περιλαμβάνονται επιφανειακά ενεργές ουσίες οι οποίες μειώνουν την επιφανειακή τάση μεταξύ νερού και πετρελαίου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη διάσπαση της πετρελαιοκηλίδας σε πολύ μικρά σταγονίδια που διασκορπίζονται εν συνεχεία στην υδάτινη στήλη, λόγω της φυσικής κίνησης του νερού. Αποτελούνται από δύο κύρια συστατικά, ένα προσκολλητικό επιφανείας και έναν κατάλληλο διαλύτη. Η χρησιμοποίηση διασκορπιστικών στην παράκτια ζώνη ιδιαίτερα στη Μεσόγειο θάλασσα, που είναι μια ευαίσθητη περιοχή, δεν θεωρείται η καλύτερη επιλογή για την καταπολέμηση μιας σοβαρής ρύπανσης και γενικότερα η χρήση τους, παρόλο που σε ορισμένες περιπτώσεις είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική, αποτελεί

αμφιλεγόμενο ζήτημα σε πολλές χώρες κυρίως λόγω της τοξικότητά τους, που τα καθιστά επικίνδυνα για διάφορους θαλάσσιους οργανισμούς. Έρευνες τέλος έχουν δείξει ότι η αποτελεσματικότητά τους επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η αλατότητα της θάλασσας, η θερμοκρασία του νερού, το ιξώδες του πετρελαίου.

ii.) Άλλα χημικά, μεταξύ αυτών τα πτητικά μέσα ή στερεοποιητές, μέσα καταβύθισης, απογαλακτοποιητές, βιολογικά μέσα, μέσα ανάφλεξης κ.α.

γ.) Φυσική Αποικοδόμηση (natural degradation/to do nothing)

Η τακτική αυτή δεν χρησιμοποιείται συχνά και γενικά δύσκολα δικαιολογείται. Η τεχνική συνίσταται μόνο στην παρακολούθηση της κίνησης της κηλίδας. Συνήθως εφαρμόζεται στις περιπτώσεις εκείνες όπου πετρέλαιο και συνηθέστερα ελαφριά κλάσματα διαρρέουν στην ανοικτή θάλασσα, μακριά από ακτές και σε καταστάσεις θαλασσοταραχής.

Να αναφερθεί τέλος ότι τα τελευταία χρόνια μελετούνται και προωθούνται και άλλες μέθοδοι ως εναλλακτικές ή συμπληρωματικές παρεμβάσεις στην απορρύπανση. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι η Βιοαποικοδόμηση και η Επί Τόπου Καύση.

Με τον όρο βιοαποικοδόμηση εννοείται το σύνολο των διαδικασιών, που χρησιμοποιούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να αυξήσουν τους ρυθμούς της φυσικής αποικοδόμησης του πετρελαίου. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη ουσιών, συγκεκριμένα φυσικών μικροοργανισμών και ενώ η χρησιμότητα της μεθόδου στη θάλασσα εξακολουθεί να μην είναι καθορισμένη, σε ακτές όπου είναι αδύνατο να χρησιμοποιηθούν μηχανικά ή χημικά μέσα, όπως σ ένα ευαίσθητο οικοσύστημα, η βιοαποικοδόμηση μπορεί να θεωρηθεί ως ο μοναδικός τρόπος καθαρισμού.

Όσον αφορά την επί τόπου καύση, ο όρος χαρακτηρίζει τη διαδικασία της καύσης κηλίδων πετρελαίου στη θάλασσα και ενώ έχει τη δυνατότητα να απομακρύνει μεγάλες ποσότητες πετρελαίου από την επιφάνεια του νερού, πρακτικά παρουσιάζει προβλήματα όπως η ανάφλεξη, η διατήρηση της καύσης, οι μεγάλες ποσότητες καπνού στην ατμόσφαιρα, η δημιουργία και πιθανή βύθιση παχύρρευστων υπολειμμάτων και λόγοι ασφαλείας.

2.6.2. Καθαρισμός των ακτών

Πολλές φορές η επιχείρηση απορρύπανσης στη θάλασσα είναι αδύνατο να εμποδίσει τμήμα της πετρελαιοκηλίδας, μικρό ή μεγάλο, να φθάσει στις ακτές. Η επέμβαση του ανθρώπου, στο ρυπασμένο περιβάλλον, πρέπει να γίνει εφόσον θεωρηθεί απαραίτητη, με μεγάλη προσοχή και σεβασμό στο περιβάλλον. Επιθετικές παρεμβάσεις του ανθρώπου με μη κατάλληλα αντιρρυπαντικά μέσα είναι πολύ πιθανό να προκαλέσουν ακόμα μεγαλύτερη καταστροφή από ότι το ίδιο το πετρέλαιο. Οι επιχειρήσεις απορρύπανσης είναι ιδιαίτερα δαπανηρές, απαιτούν μεγάλο ανθρώπινο δυναμικό,

κατάλληλο εξοπλισμό και γενικά είναι χρονοβόρες ενώ η επανάκαμψη του οικοσυστήματος δεν είναι βέβαιη.

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται. Μερικές από τις οποίες είναι αποδεκτές από τις οδηγίες του Ευρωπαϊκού οργανισμού REMPEC είναι η χειρονακτική ή/και η μηχανική περισυλλογή των υλικών που προσβλήθηκαν από πετρέλαιο, η χρήση βυτιοφόρων, μηχανημάτων καθαρισμού ακτών, η αμμοβολή, η πλύση με χαμηλή πίεση για οικολογικά ευαίσθητες περιοχές και με υψηλή για βραχώδεις ακτές, ο καθαρισμός με ατμό, η καύση, η μετατόπιση των υλικών που προσβλήθηκαν από πετρέλαιο στη θάλασσα και η ανάμιξη με το υπόστρωμα. Να σημειώσουμε ότι καθοριστικός παράγοντας για την επιλογή του τρόπου απορρύπανσης είναι ο τύπος των ακτών, δηλαδή αν είναι βραχώδεις ή αμμώδεις και από το αν παρουσιάζουν οικολογικό ή τουριστικό ενδιαφέρον.

3. Παλαιότερα σημαντικά ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας

Ένα από τα πιο γνωστά ναυτικά ατυχήματα είναι η προσάραξη του δεξαμενόπλοιου Exxon Valdez (Prince William Sound, Alaska) στις 24/3/1989 στην Αλάσκα, όταν προσέκρουσε στον ύφαλο Bligh των παρθένων νερών της Αλάσκας και 11 εκατομμύρια γαλόνια ακατέργαστο πετρέλαιο κάλυψαν 28.000 km² ωκεανού αποτελώντας μια μαύρη στιγμή στην ιστορία των ΗΠΑ (Εικόνα 3.1, 3.2). Παρόλο που το συγκεκριμένο ατύχημα δεν ανήκει στα μεγαλύτερα από άποψη ποσότητας διαρρέοντος πετρελαίου που έχουν συμβεί παγκοσμίως, είναι πολύ σημαντικό λόγω των καταστροφικών του συνεπειών. Συνέβη σε ένα από τα πλέον ευαίσθητα οικοσυστήματα και κατέστρεψε περισσότερα από 2000 km ακτής και την οικονομική ζωή των κατοίκων της περιοχής. Το γεγονός επίσης ότι συνέβη σε ένα σημείο απομακρυσμένο, προσβάσιμο μόνο με ελικόπτερο, αεροπλάνο ή πλοίο, κατέστησε τις προσπάθειες της αντιμετώπισής της εξαιρετικά δύσκολες. Επίσης η περιοχή ήταν μεγάλης περιβαλλοντικής σημασίας καθώς φιλοξενούσε πληθυσμούς διαφόρων θαλάσσιων ζώων, σολομό, φώκιες και θαλάσσια πουλιά. Η επαναφορά του περιβάλλοντος και της τοπικής κοινωνίας διήρκησε τόσα πολλά χρόνια, που αυτό το ατύχημα ευαισθητοποίησε επιστημονικούς, περιβαλλοντικούς ακόμα και ψυχολογικούς οργανισμούς γύρω από το θέμα των ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας, τονίζοντας έτσι ακόμα περισσότερο την ανάγκη ύπαρξης ενός σχεδίου προετοιμασίας και αντιμετώπισης ενός πιθανού μελλοντικού ατυχήματος πετρελαιοκηλίδας.



Εικόνα 3.1. Το δεξαμενόπλοιο Exxon Valdez (πηγή: bbc.co.uk/news/10324021)



Εικόνα 3.2. Επιχείρηση καθαρισμού της πετρελαιοκηλίδας του Exxon Valdez (πηγή: ngm.nationalgeographic.com)

3.1 Παγκόσμια Ατυχήματα Πετρελαιοκηλίδας

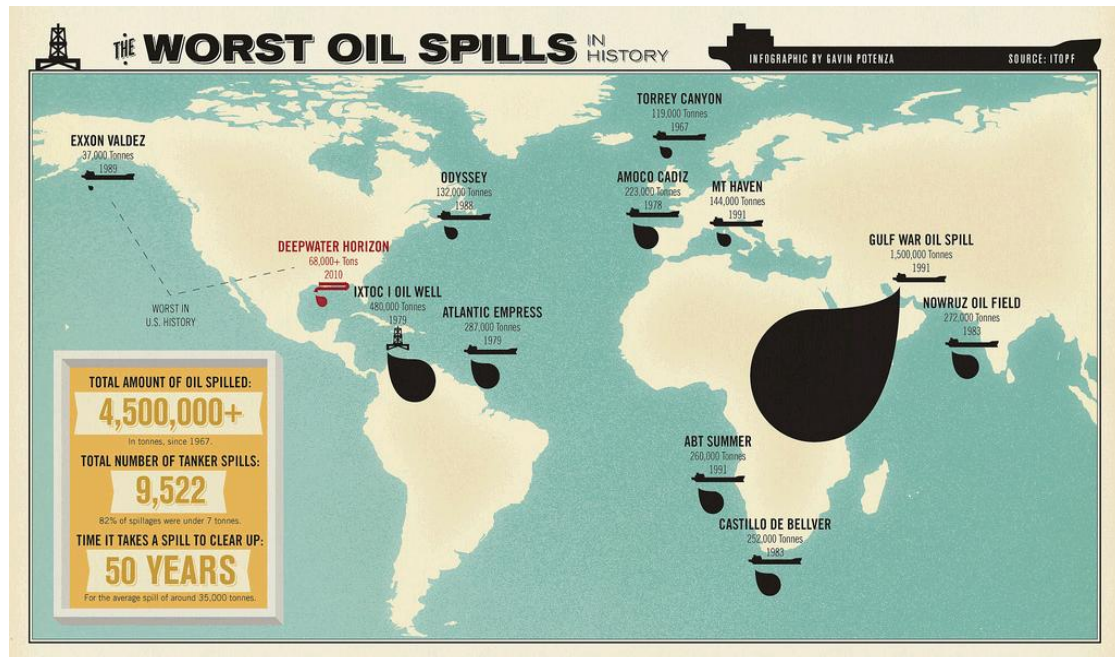
Στον Πίνακα 3.1 αναφέρονται τα σημαντικότερα ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας που κατέγραψε η ιστορία ανά τον κόσμο, με βάση την ποσότητα του πετρελαίου που διέρρευσε κατά τη διάρκεια της καταστροφής (Να αναφέρουμε πως 1 γαλόνι (gal) = 4,546 λίτρα):

Πίνακας 3.1. Οι σημαντικότερες πετρελαιοκηλίδες παγκοσμίως (πηγή στοιχείων: Greenpeace)

<p><i>Gulf War, 1991, Κουβέιτ- 520</i> εκατομμύρια γαλόνια</p>	<p>Καθώς οι ιρακινές δυνάμεις αποχώρησαν από το Κουβέιτ κατά την διάρκεια του Πρώτου Πολέμου του Κόλπου, άνοιξαν τις βαλβίδες των πετρελαιοπηγών και αγωγών σε μια προσπάθεια να επιβραδύνουν την επίθεση των αμερικάνικων στρατευμάτων. Το αποτέλεσμα ήταν η μεγαλύτερη πετρελαιοκηλίδα που είδε ποτέ η ιστορία.</p>
<p><i>Deepwater horizon, 2010, Κόλπος του Μεξικού- 210</i> εκατομμύρια γαλόνια</p>	<p>Η πετρελαιοκηλίδα της BP έρεε για 3 μήνες . Η διαρροή οφειλόταν στην έκρηξη της εξέδρας Deepwater horizon, όπου μεθάνιο αέριας μορφής τέθηκε κατά κάποιο τρόπο σε εξαιρετικά υψηλή πίεση, έφτασε μέχρι το σωλήνα γεώτρησης (πετρελαιοπήγαδο) μέχρι τελικά να προκληθεί η ανάφλεξή του. Η έκρηξη αυτή σκότωσε 11 άνδρες.</p>
<p><i>Ixtoc I Oil Well, 1979, Κόλπος Campeche Μεξικό- 140</i> εκατομμύρια γαλόνια</p>	<p>Μεξικάνικη εταιρεία πετρελαίου, η Pemex, προσπαθούσε να ανοίξει μια υπεράκτια πετρελαιοπηγή και μια απρόσμενη έκρηξη σημειώθηκε. Αμέσως προκλήθηκε ανάφλεξη του πετρελαίου, η εξέδρα γεώτρησης κατέρρευσε και το πετρέλαιο άρχισε να ρέει ελεύθερα στον κόλπο του Μεξικού.</p>
<p><i>Atlantic Empress, 1979, Τρινιδάδ και Τομπάγκο, Δυτικές Ινδίες- 88,3</i> εκατομμύρια γαλόνια</p>	<p>Λόγω πολύ ισχυρής τροπικής καταιγίδας στην Καραϊβική Θάλασσα, δυο δεξαμενόπλοια, το Atlantic Empress και το Aegean Captain, συγκρούστηκαν. Το Atlantic Empress ήταν πλήρως φορτωμένο και εξερράγη στις φλόγες σκοτώνοντας 26 του πληρώματος.</p>
<p><i>Fergana Valley 1992, Ουζμπεκιστάν- 88</i> εκατομμύρια γαλόνια</p>	<p>Η υπόθεση της διαρροής πετρελαίου στην κοιλάδα Fergana, οφείλεται στην άγνοια. Αποτελεί τη μεγαλύτερη διαρροή που έχει καταγραφεί στο εσωτερικό και όχι στη θάλασσα. Μια πετρελαιοπηγή της περιοχής αντιμετώπισε ένα μηχανικό πρόβλημα με αποτέλεσμα τη διαρροή του πετρελαίου έξω από το φρεάτιο.</p>

<p><i>Nowruz Oil Field, 1983, Περσικός Κόλπος</i>- 80 εκατομμύρια γαλόνια</p>	<p>Κατά τη διάρκεια του πολέμου Ιράκ-Ιράν, ένα πετρελαιοφόρο συγκρούστηκε με μια πλατφόρμα πετρελαίου στον Περσικό Κόλπο. Η δύναμη της σύγκρουσης προκάλεσε την πτώση της πλατφόρμας προκαλώντας μεγάλες ζημιές, αφού η διαρροή ήταν 1500 βαρέλια πετρελαίου την ημέρα. Καθώς η περιοχή αποτελούσε εμπόλεμη ζώνη, 7 μήνες πέρασαν μέχρι να σταματήσει η διαρροή.</p>
<p><i>ABT Summer, 1991, Αγκόλα</i>- 80 εκατομμύρια γαλόνια</p>	<p>Ενώ βρισκόταν καθοδόν προς το Rotterdam, το πλήρως φορτωμένο δεξαμενόπλοιο ABT Summer τυλίχτηκε στις φλόγες έπειτα από μια ξαφνική έκρηξη που συνέβη 900 μίλια ανοιχτά των ακτών της Αγκόλας, αφήνοντας όλο το φορτίο του να διαρρεύσει στον ωκεανό. Περιτριγυρισμένο από μια όλο και αυξανόμενη πετρελαιοκηλίδα που καταλάμβανε 80 τετραγωνικά μίλια, το δεξαμενόπλοιο έκαιγε για τρεις ημέρες προτού τελικά βυθιστεί.</p>
<p><i>Castillo de Bellver, 1983, Νότια Αφρική</i>- 79 εκατομμύρια γαλόνια</p>	<p>Το πετρελαιοφόρο το οποίο κουβαλούσε 252.000 τόνους αργού πετρελαίου έπιασε φωτιά περίπου 70 μίλια βορειοδυτικά απ' το Κέιπ Τάουν, στη συνέχεια παρασύρθηκε και τελικά έσπασε σε δύο κομμάτια. Η πρύμνη, η οποία μετέφερε γύρω στους 100.000 τόνους πετρέλαιο, ανατράπηκε περίπου 24 μίλια μακριά από την ακτή της Νότιας Αφρικής. Υπολογίζεται ότι 50-60.000 τόνοι πετρελαίου βυθίστηκαν στη θάλασσα ή κάηκαν από τη φωτιά.</p>
<p><i>Amoco Cadiz, 1978, Γαλλία</i>- 69 εκατομμύρια γαλόνια</p>	<p>Το δεξαμενόπλοιο Amoco Cadiz βρισκόταν καθοδόν από τον Περσικό Κόλπο προς το Ρόντερνταμ, όταν κατά τη διάρκεια στάσης στη Μεγάλη Βρετανία, μια σφοδρή καταιγίδα προκάλεσε ζημιά στο πηδάλιο του πλοίου και οι προσπάθειες για επιδιόρθωση απέτυχαν.</p>

	<p>Στην προσπάθεια να σταματήσει το πλοίο να παρασύρεται, αγκυροβόλησε, αλλά οι άνεμοι ήταν πολύ δυνατοί και το φορτίο του πλοίου πολύ μεγάλο. Τελικά, το πλοίο προσάραξε, οι μηχανές πλημμύρισαν και ολόκληρο το φορτίο του από 246.000 τόνους αργού πετρελαίου διέρρευσε στα νερά της Μάγχης.</p>
<p><i>MT Haven, 1991, Ιταλία -45 εκατομμύρια γαλόνια</i></p>	<p>Παρουσιάστηκε ένα πρόβλημα στην εσωτερική λειτουργία του πλοίου και ακολούθησε έκρηξη. Στο ατύχημα σκοτώθηκαν 6 άτομα. Φλόγες ύψους 100 μέτρων ξέσπασαν μετά την έκρηξη. Αμέσως μετά το περιστατικό έγινε προσπάθεια ρυμούλκησης του πλοίου, μα απέτυχε και το πλοίο μήκους 250 μέτρων βυθίστηκε τελικά στα ανοικτά των ακτών της Γένοβας. Σήμερα θεωρείται ότι είναι το μεγαλύτερο ναυάγιο στον κόσμο.</p>
<p><i>Odyssey Oil Spill, 1988, Καναδάς -43 εκατομμύρια γαλόνια</i></p>	<p>Το Odyssey, δεξαμενόπλοιο της Λιβερίας, σχεδόν γεμάτο με αργό πετρέλαιο από τη Βόρεια Θάλασσα, έσπασε στα δύο και βυθίστηκε αφού πήρε και φωτιά 700 μίλια ανοιχτά των ακτών της Nova Scotia.</p>
<p><i>Torrey Canyon, 1967, Μεγάλη Βρετανία - 22 εκατομμύρια γαλόνια</i></p>	<p>Προσάραξη του «Torrey Canyon» στις ακτές της Κορνουάλης στη Μ. Βρετανία. Χύθηκαν 80.000 τόνοι πετρελαίου</p>
<p><i>Prestige, 2002, Ισπανία - 20 εκατομμύρια γαλόνια</i></p>	<p>Στις 19 Νοεμβρίου 2002, το πετρελαιοφόρο Prestige που μετέφερε 77.000 τόνους πετρελαίου, βυθίστηκε σε απόσταση 250 χιλιομέτρων από τις ΒΔ ακτές της Ισπανίας. Υπέστη ζημιές από μια καταιγίδα με αποτέλεσμα την έκρηξη μία εκ των δώδεκα δεξαμενών του. Το πλοίο έσπασε στα δυο. Η πλώρη έκατσε σε βάθος 3830 μέτρων και η πρύμνη σε βάθος 3565 μέτρων. Οι αρχικές εκτιμήσεις ήθελαν το πετρέλαιο να παγώνει λόγω της πολύ χαμηλής θερμοκρασίας και της τεράστιας πίεσης σε τέτοια βάθη.</p>



Εικόνα 3.3. Οι μεγαλύτερες πετρελαιοκηλίδες στον κόσμο (πηγή: guecoaction.blogspot.gr/2010/06/.html)

3.2 Ατυχήματα Πετρελαιοκηλίδας στον Ελληνικό Θαλάσσιο Χώρο

Η ιστορία της Ελλάδας είναι άρρηκτα δεμένη με τη θάλασσα. Αν αναλογιστεί κανείς ότι οι ελληνικές παραλίες απλώνονται σε ένα μήκος 15.000 χιλιομέτρων και ότι πάνω από 100 εκατ. τόνοι πετρελαιοειδών διακινούνται ετησίως μέσω των ελληνικών θαλασσών, τότε θα συνειδητοποιήσει το μέγεθος των ευθυνών και των υποχρεώσεων, τόσο από πλευράς κρατικών φορέων, όσο και από πλευράς ιδιωτών ώστε να προστατευθούν οι θάλασσες και οι ακτές σε μία χώρα η οποία έχει το προνόμιο να διαθέτει μερικά από τα ομορφότερα και πιο ενδιαφέροντα θαλάσσια και παράκτια οικοσυστήματα της Ευρώπης, να φιλοξενεί ορισμένα από τα πλέον απειλούμενα θαλάσσια είδη στον πλανήτη και να διαθέτει παραλίες οι οποίες αποτελούν κάθε χρόνο πόλο έλξης για εκατομμύρια τουρίστες.

Μέχρι πρότινος, το πιο πρόσφατο περιστατικό θαλάσσιας ρύπανσης στον ελληνικό χώρο ήταν η βύθιση του κρουαζιερόπλοιου Sea Diamond στην Καλδέρα της Σαντορίνης (Εικόνα 3.4), στις 5 Απριλίου 2007. Σύμφωνα με το δελτίο τύπου της περιβαλλοντικής οργάνωσης WWF Ελλάς ένα χρόνο μετά τη βύθιση του πλοίου, η ποσότητα πετρελαιοειδών που είχαν περισυλλεγεί έφτανε τους 300 τόνους ενώ σύμφωνα με υπολογισμούς, στο πλοίο εξακολουθούσε να υπάρχει πολύ μεγαλύτερη ποσότητα πετρελαιοειδών και λιπαντικών. Καθώς οι δεξαμενές του πλοίου είχαν διαρραγεί, υπάρχει κίνδυνος τα τοξικά υγρά να διαρρεύσουν ανά πάσα στιγμή στη

θάλασσα. Στις 8/3/2014 όμως, η προσάραξη σε βραχώδη ακτή της Μυκόνου του τουρκικού φορτηγού πλοίου Yusuf Cerpioğlu (Εικόνα 3.5) που είχε αναχωρήσει από τη Σμύρνη με προορισμό την Τυνησία φορτωμένο με εμπορευματοκιβώτια, ήρθε να προκαλέσει νέους φόβους για πιθανή οικολογική καταστροφή. Το ειδικά διαμορφωμένο πλοίο «ΑΙΓΙΣ 1» προχώρησε σε απάντληση των 200 τόνων καυσίμων από τις δεξαμενές του, ενώ στη θαλάσσια περιοχή που βρισκόταν το τουρκικό πλοίο τοποθετήθηκαν πλωτά φράγματα σε δύο σειρές και περιορίστηκε η μικρής έκτασης διαρροή καυσίμων κίνησης. Η επιχείρηση ήταν αρκετά δύσκολη καθώς στο σημείο υπάρχουν απότομα βράχια και εκείνες τις μέρες επικρατούσαν δύσκολες καιρικές συνθήκες με ισχυρούς ανέμους εντάσεως 7-8 μποφόρ με αποτέλεσμα, παρά τις προσπάθειες από το Λιμενικό Σώμα και τα ρυμουλκά, να αποτύχουν οι προσπάθειες αποκόλλησης του πλοίου από τα βράχια και απομάκρυνσής του από την περιοχή ώσπου δυστυχώς τελικά βυθίστηκε. Η πλοιοκτήτρια εταιρεία έχει ήδη αναθέσει τις ενέργειες ναυαγιαίρεσης και προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος σε εξειδικευμένη εταιρεία ενώ παράλληλα, η λιμενική αρχή Μυκόνου έχει ενισχυθεί με μέσα και υλικά απορρύπανσης για την περίπτωση που απαιτηθεί η χρήση τους.



Εικόνα 3.4 Το κρουαζιερόπλοιο Sea Diamond στη Σαντορίνη στο σημείο της πρόσκρουσης στις 5/4/2007 (πηγή: <http://thepaper.gr/sea-diamond>)



Εικόνα 3.5 Η προσάραξη του τουρκικού φορτηγού πλοίου στη Μύκονο στις 8/3/2014 (πηγή: mykonoszoo.blogspot.gr/2014/03/mv-yusuf-cepnioglu.html)

Παρακάτω γίνεται αναφορά στα μεγαλύτερα ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας που έχουν σημειωθεί στον ελληνικό θαλάσσιο χώρο (Πίνακας 3.2).

23/2/80: Ατύχημα στο πετρελαιοφόρο "Irenes Serenade" στην Πύλο λόγω έκρηξης, με αποτέλεσμα 40.000 τόνοι πετρελαίου να καταλήξουν στη θάλασσα.

9/10/93: 800 τόνοι πετρελαίου διαρρέουν στην περιοχή από το πετρελαιοφόρο "Piad". Τα ρεύματα παρασύρουν το πετρέλαιο έξω από τον προστατευμένο όρμο και μαυρίζει η μαγευτική παραλία της Βοΐδοκοιλιάς. Πετρέλαιο εντοπίζεται και σε άλλες ακτές. Στην προσπάθεια των δυτών να δουν τις επιπτώσεις από το πετρέλαιο που διέρρευσε από το "Piad" ανακαλύπτουν ορατά ακόμα τα σημάδια από το προηγούμενο ατύχημα (13 χρόνια πριν). Το πετρέλαιο του "Irenes Serenade" βρέθηκε να καλύπτει σημεία του πυθμένα. Είναι απορίας άξιο, πώς ένας τόσο ευαίσθητος αλλά και ιστορικός κλειστός κόλπος χρησιμοποιείται ως αγκυροβόλιο πετρελαιοφόρων.

1/10/94: ατύχημα στο πετρελαιοφόρο "La Guardia", κατά τη φορτοεκφόρτωση, στις εγκαταστάσεις του Ασπρόπυργου. 400-800 τόνοι πετρελαίου καταλήγουν στον Κόλπο της Ελευσίνας. Δυστυχώς, η πολυετής διαρκής επιβάρυνση του κλειστού Κόλπου από τοξικά απόβλητα έχει μετατρέψει ήδη τον πυθμένα του σε ... τοξικό απόβλητο. Όπως έδειξε παλαιότερη έρευνα της Greenpeace και ύστερα από αναλύσεις δειγμάτων πυθμένα από τον Κόλπο της Ελευσίνας, υπάρχει σοβαρότατη ρύπανση από πετρελαιοειδή και τοξικά βαρέα μέταλλα στην περιοχή. Η πετρελαιοκηλίδα απλώς επιβάρυνε την ήδη βεβαρημένη κατάσταση του Κόλπου.

8/8/1996: ατύχημα στο πετρελαιοφόρο "Kriti Sea" στα διωλιστήρια της Motor Oil στους Άγιους Θεόδωρους κατά τη φορτοεκφόρτωση. Διαρροή 300-500 τόνων στη θάλασσα του Σαρωνικού. Γίνεται σημαντική κινητοποίηση για την αντιμετώπιση της πετρελαιοκηλίδας που εκτός από τους Άγιους Θεόδωρους, φτάνει τις ακτές της Αίγινας και του Αγκιστριού.

9/5/1997: στο Φραγκολίμανο, εξοχικό θέρετρο στις ακτές της Πελοποννήσου, αρκετά ναυτικά μίλια μακριά από τον τόπο του ατυχήματος, παχιά στρώματα πετρελαίου καλύπτουν ακόμα τον πυθμένα του ορμίσκου. Το πετρέλαιο βρίσκεται εκεί εγκλωβισμένο από τον περασμένο Αύγουστο. Ύστερα από διαμαρτυρίες κατοίκων και εν όψει της νέας τουριστικής περιόδου, στις 9/5/97, συνεργείο της εταιρείας προχώρησε στην άντληση του πετρελαίου από τον πυθμένα του Φραγκολίμανου, πιστεύοντας ότι έτσι λύνεται το πρόβλημα. Οι ερευνητές της Greenpeace βρέθηκαν εκεί και κατέγραψαν την κατάσταση αμέσως μετά την αποχώρηση του συνεργείου καθαρισμού. Το πετρέλαιο έχει εισχωρήσει στην φαινομενικά καθαρή άμμο του πυθμένα. Σκάβοντας την άμμο, οι ερευνητές της Greenpeace ανακάλυψαν ότι το πετρέλαιο βρισκόταν παντού. Μαύρο σύννεφο συνόδευε κάθε ανάδευση του βυθού. Δεν έλειπαν τα σημεία στα οποία βρίσκονταν συγκεντρωμένα, εννέα μήνες μετά τη διαρροή, συμπαγή κομμάτια πετρελαίου. Τα ίχνη του πετρελαίου ήταν εμφανή ακόμα και στα ψάρια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι εικόνες που κατέγραψε η υποβρύχια κάμερα της Greenpeace. Ψάρια που ζουν και τρέφονται στο βυθό, είναι κυριολεκτικά καλυμμένα με πετρελαιοειδή. Και όλα αυτά εννέα μήνες μετά τη διαρροή.

1/9/2000: Το δυστύχημα του εμπορικού πλοίου «Eurobulker X» , το οποίο κόπηκε στα δύο στο Λευκαντί της Εύβοιας, προκάλεσε μια τεράστια για τα ελληνικά δεδομένα οικολογική καταστροφή στον Νότιο Ευβοϊκό και εγείρει το μείζον θέμα της προστασίας των θαλασσών από τα ναυτικά ατυχήματα και τα βιομηχανικά απόβλητα.

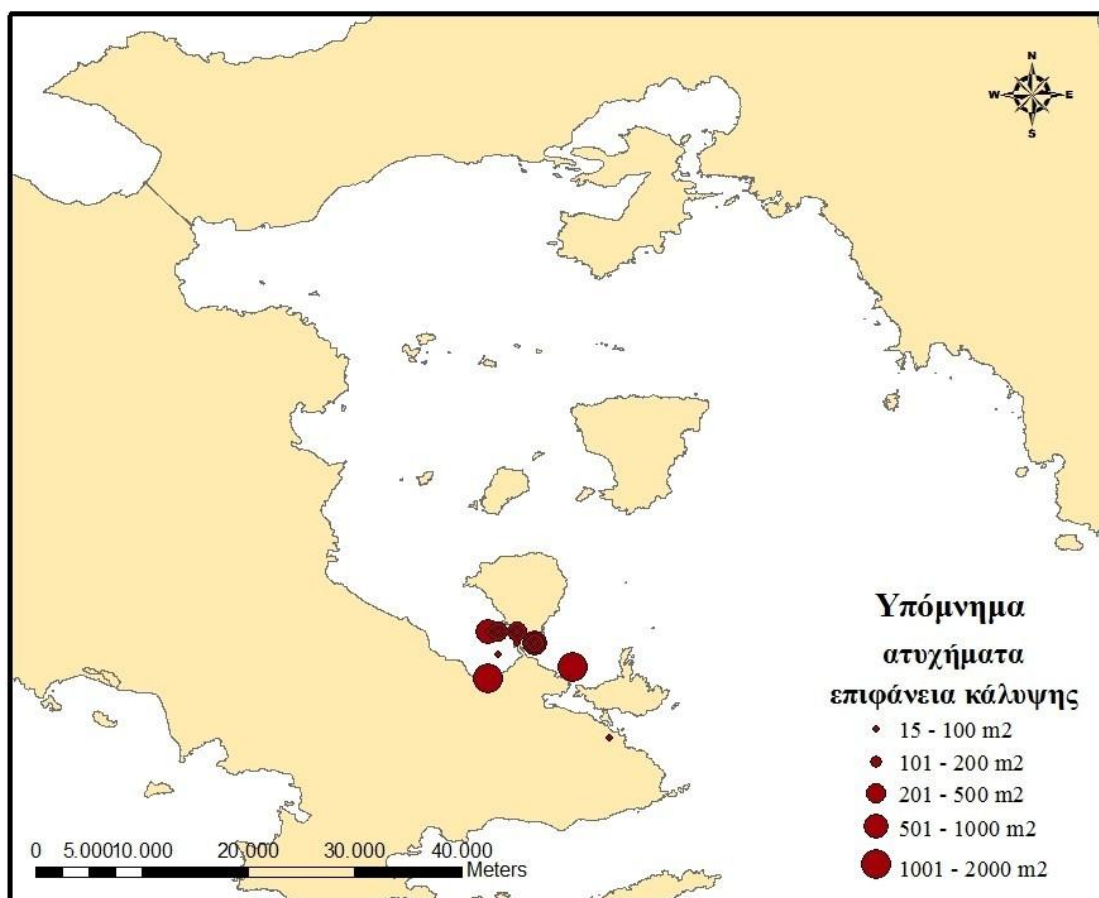
Πίνακας 3.2 Σημαντικότερες πετρελαιοκηλίδες από ναυτικά ατυχήματα στην Ελλάδα
(πηγή: greenpeace.org)

1972	«Trader», 36.500 τόνοι στο Αιγαίο
2-3-79	«Μεσσηνιακή Φροντίς» στους Καλούς Λιμένες της Κρήτης, χύθηκαν 12.000 τόνοι πετρελαίου
23-2-80	«Irenes Serenade» στην Πύλο, 40.000 τόνοι πετρελαίου στη θάλασσα
4-5-87	«Rabigh Bay III», 500-1000 τόνοι χύνονται στον Ασπρόπυργο
21-10-88	Σύγκρουση των επιβατηγών «Jupiter» και «Adige», 500-1000 τόνοι χύνονται στον Πειραιά
4-5-92	«Georgi Chernomoroga», 1700 τόνοι μαυρίζουν το κεντρικό Αιγαίο
9-10-93	«Piad», Πύλος, χύθηκαν περίπου 800 τόνοι
1-10-94	« La Guardia», Ασπρόπυργος, 400-800 τόνοι στον κόλπο της Ελευσίνας
8-8-96	«Kriti Sea», διαρροή 300-500 τόνων πετρελαίου στα διυλιστήρια της Motor Oil στους Αγίους Θεοδώρους Κορινθίας
1-9-2000	«Eurobulker X», Λευκαντί Εύβοιας, περίπου 300 τόνοι διαρρέουν στο νότιο Ευβοϊκό

3.2.1 Ατυχήματα στο Σαρωνικό κόλπο

Σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Ναυτιλίας και Αιγαίου, στη δεκαετία 2003-2012 σημειώθηκαν συνολικά στον Σαρωνικό Κόλπο 45 ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας μέγιστης επιφάνειας μόλυνσης τα 2000m² (Χάρτης 3.1).

Να σημειωθεί ότι στα παραπάνω περιστατικά του Σαρωνικού κόλπου δεν συμπεριλήφθηκαν τα ατυχήματα που συνέβησαν στο κόλπο της Ελευσίνας, καθώς σύμφωνα πάλι με το Υπουργείο Ναυτιλίας και Αιγαίου, στα περισσότερα από αυτά η ποσότητα του πετρελαιοειδούς που απορρίφθηκε στη θάλασσα ήταν κατ' εκτίμηση μικρότερη του ενός κυβικού μέτρου.



Χάρτης 3.1 Ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας στο Σαρωνικό κόλπο τη δεκαετία 2003-2012 (πηγή στοιχείων: Υπουργείο Ναυτιλίας και Αιγαίου, Δ/νση Προστασίας Θαλασσιού Περιβάλλοντος)

4. Διεθνής και εθνική νομοθεσία για την πρόληψη, αποτροπή και αντιμετώπιση της θαλάσσιας ρύπανσης

Σε άρθρο της Greenpeace που δημοσιεύτηκε τον Σεπτέμβριο του 2006, αναφέρεται: «Τα ατυχήματα διεθνώς αλλά και στην Ελλάδα έθεσαν επιτακτικά το αίτημα για απαγόρευση της προσέγγισης πετρελαιοφόρων σε ευαίσθητες περιοχές. Με αφορμή τα ατυχήματα στον όρμο του Ναυαρίνου, η Greenpeace ζήτησε την απαγόρευση διέλευσης-αγκυροβολίου πετρελαιοφόρων στον ευαίσθητο αυτό κλειστό όρμο. Το ατύχημα του "Irenes Serenade" στην Πύλο το 1980 δεν συνέβη λόγω σφαλμάτων οδήγησης αλλά λόγω έκρηξης μέσα στον όρμο, κάτι που μπορεί να ξανασυμβεί οποιαδήποτε στιγμή και στο μέλλον. Στην Πύλο δεν γίνεται φορτοεκφόρτωση πετρελαιοειδών, αλλά μόνο ανεφοδιασμός των πλοίων. Ο ανεφοδιασμός αυτός μπορεί να γίνει και εκτός όρμου χωρίς να θίγονται σοβαρά τα τοπικά οικονομικά ή εργασιακά συμφέροντα.

Στον απόηχο των μεγάλων ατυχημάτων σε πετρελαιοφόρα πλοία που έπληξαν τις ευρωπαϊκές ακτές, το Συμβούλιο Υπουργών Περιβάλλοντος και Μεταφορών της Κοινότητας αποφάσισε στις 25/01/1993 τον καθορισμό θαλασσιών περιοχών ιδιαίτερου οικολογικού ενδιαφέροντος, στις οποίες να αποφεύγεται η διέλευση δεξαμενόπλοιων που μεταφέρουν πετρελαιοειδή και άλλες επικίνδυνες χημικές ουσίες. Ο καθορισμός ζωνών ιδιαίτερου οικολογικού ενδιαφέροντος αποκτά δραματική σημασία για τον ελληνικό χώρο για δύο επιπλέον λόγους:

1. Η Ελλάδα έχει το προνόμιο να διαθέτει μερικά από τα ομορφότερα και πιο ενδιαφέροντα θαλάσσια και παράκτια οικοσυστήματα της Ευρώπης, και να φιλοξενεί ορισμένα από τα πλέον απειλούμενα θαλάσσια είδη στον πλανήτη (όπως π.χ. τη μεσογειακή φώκια *Monachus monachus* και τη θαλάσσια χελώνα *Caretta caretta*).
2. Πάνω από 100 εκατομμύρια τόνοι πετρελαιοειδών διακινούνται ετησίως διαμέσου των ελληνικών θαλασσών, λόγω της κομβικής γεωγραφικής θέσης που κατέχει η χώρα μας. Ο κίνδυνος συνεπώς ενός σοβαρού ατυχήματος είναι ιδιαίτερα σημαντικός.

Επειδή, μετά τα σοβαρά ατυχήματα των τελευταίων ετών, φαίνεται πως υπάρχει σε κοινοτικό επίπεδο η βούληση για προστασία κάποιων περιοχών, και επειδή αντίστοιχη βούληση έχουν επιδειξεί όλα τα πολιτικά κόμματα σε σχετική ερώτηση μας, η Greenpeace έχει προτείνει από το Νοέμβριο του 1996 να υπάρξουν σε πρώτη φάση περιορισμοί στη διακίνηση επικίνδυνων φορτίων, στις περιοχές του Εθνικού Πάρκου Αλοννήσου Β. Σποράδων, την ευρύτερη περιοχή του Κόλπου του Λαγανά στη Ζάκυνθο, τις ευρύτερες περιοχές των παράκτιων βιοτόπων που προστατεύονται από τη διεθνή Συνθήκη Ραμσάρ (όπως το δέλτα του Έβρου), καθώς και τον όρμο του Ναυαρίνου στην Πύλο. Δεν χρειάζεται να επιχειρηματολογήσουμε για την ανάγκη, όχι μόνο να σεβαστούμε ως χώρα τη διεθνή Συνθήκη Ραμσάρ, αλλά κυρίως να προστατέψουμε αποτελεσματικά αυτές τις μοναδικές περιοχές. Η απαγόρευση διέλευσης επικίνδυνων φορτίων κοντά στους βιότοπους αποτελεί μια θετική προσπάθεια προς αυτή την κατεύθυνση.

Επιπλέον, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο με απόφασή του (20-12-2002) απαγορεύει σε πετρελαιοφόρα μονού τοιχώματος (όπως είναι τα "Prestige" και "Erika") να μεταφέρουν βαρύ μαζούτ στην Ε.Ε».

Η απόφαση αυτή έχει ιδιαίτερη βαρύτητα, δεδομένου ότι το 90% του πετρελαίου μεταφέρεται μέσω θαλάσσης.

4.1 Το Διεθνές Νομοθετικό Πλαίσιο Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος

Υπάρχουν πλήθος από διεθνείς και ευρωπαϊκές συνθήκες και άλλες διατάξεις για την πρόληψη, αποτροπή και αντιμετώπιση της θαλάσσιας ρύπανσης γενικότερα αλλά και ειδικότερα της Μεσογείου. Το ατύχημα του δεξαμενόπλοιου Torrey Canyon (1976) με την προσάραξη του στις ακτές της Κορνουάλλης και τη διαρροή 121.000 τόνων αργού πετρελαίου στη θάλασσα αποτέλεσε την αφορμή για την ευαισθητοποίηση κυρίως της Ευρώπης απέναντι σε έναν κίνδυνο που μέχρι τότε αγνοούσε, αυτόν της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος με πετρέλαιο. Έδωσε επίσης το έναυσμα για τη διοργάνωση πολλών Διεθνών Συσκέψεων με θέμα τις πολιτικές και τη λήψη μέτρων για την πρόληψη και καταπολέμηση της θαλάσσιας ρύπανσης από πετρελαιοκηλίδες.

Ακολουθούν οι σημαντικότερες διεθνείς συμβάσεις:

1. Διεθνής Συνθήκη "Fund 1971" που ρυθμίζει θέματα αποζημίωσης θυμάτων ρύπανσης. Έχει κυρωθεί από τη χώρα μας με τον Ν.1638/1986 και το Π.Δ. 270/1995 (πρωτόκολλα 1976-1992).
2. Διεθνής Συνθήκη Βαρκελώνης (1976) για την προστασία της Μεσογείου και η Διεθνής Συνθήκη (1972) του Λονδίνου "πρόληψη της ρύπανσης της θάλασσας από την απόρριψη καταλοίπων και άλλων υλών από πλοία και αεροσκάφη" (London dumping convention) σχετικές με τη ρύθμιση ειδικών περιπτώσεων προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Έχουν κυρωθεί από τη χώρα μας με τους Ν.855/1978 και Ν.1147/1981 αντίστοιχα.
3. Διμερής Συμφωνία Ελλάδας-Ιταλίας 1978 περί προστασίας του Ιονίου Πελάγους.
4. Διεθνής Συνθήκη Marpol 73-78 για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία.
5. Διεθνής Συνθήκη OPRC '90 "International Convention On Oil Pollution Preparedness, Response And Co-operation 1990", που ρυθμίζει θέματα ετοιμότητας, συνεργασίας και αντιμετώπισης της ρύπανσης από πετρέλαιο. Έχει κυρωθεί από τη χώρα μας με το Ν.2252/1994.
6. Διεθνής Συνθήκη Bunkers για την αστική ευθύνη για ζημιά ρύπανσης από πετρέλαιο κίνησης 2001. Έχει κυρωθεί από την χώρα μας με τον Ν..3394/2005.
7. Πρωτόκολλο του 2003 της Διεθνούς Σύμβασης CLC του 1992 για την Ίδρυση Διεθνούς Κεφαλαίου αποζημίωσης ζημιών ρύπανσης από πετρέλαιο.

Αξίζει τέλος να αναφερθεί και η διεθνής σύμβαση για την απομάκρυνση των Ναυαγίων. Η σύμβαση αυτή σκοπεύει να καλύψει το κενό στην υπάρχουσα νομοθεσία, με τη θέσπιση κοινών διεθνών κανόνων για την αποτελεσματική μετακίνηση των ναυαγίων που βρίσκονται πέρα από τα όρια της αιγιαλίτιδας ζώνης

(beyond the territorial sea). Σύμφωνα με τα δεδομένα του IMO, τα εγκαταλελειμμένα ναυάγια ξεπερνούν τα 1300. Τα προβλήματα που προκύπτουν είναι 3 ειδών:

- Ανάλογα με τη θέση του ναυαγίου, αυτό μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο για την ασφάλεια των άλλων πλοίων και των πληρωμάτων
- Ανάλογα με το είδος του φορτίου, το ναυάγιο μπορεί να προκαλέσει ζημιές στο θαλάσσιο και παράκτιο περιβάλλον
- Ανάλογα με την υψηλή αξία κάποιων φορτίων, υπάρχει το κόστος του εντοπισμού και της απομάκρυνσης του ναυαγίου.

Η σύμβαση καθιστά οικονομικά υπεύθυνους τους πλοιοκτήτες και απαιτεί από αυτούς να έχουν ασφαλιστική ή άλλη οικονομική εγγύηση για να καλύψουν τα έξοδα απομάκρυνσης του ναυαγίου. Επίσης, δίνει τη δυνατότητα στα κράτη μέλη να προβούν σε νόμιμες ενέργειες ενάντια στους ασφαλιστές.

Ακολουθεί αναλυτική αναφορά στη συνθήκη MARPOL καθώς αποτελεί την κύρια διεθνή συνθήκη για την πρόληψη της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος από τα πλοία.

4.2 MARPOL (1973/1978)

Για πρώτη φορά το 1968 τέθηκε το θέμα δημιουργίας μιας διεθνούς συνθήκης που να καλύπτει όλες τις μορφές της θαλάσσιας ρύπανσης. Ο ΟΗΕ ανέλαβε να ξεκινήσει τις συνομιλίες και τις διαδικασίες για την προετοιμασία μιας τέτοιας συνθήκης.

Στη διεθνή συνδιάσκεψη για τη Θαλάσσια Ρύπανση που πραγματοποιήθηκε στο Λονδίνο το 1973, υιοθετήθηκε η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Θαλάσσιας Ρύπανσης από τα Πλοία που μαζί με τα αρχικά πέντε παραρτήματα της MARPOL συνθέτουν μία από τις σπουδαιότερες στον τομέα της θαλάσσιας ρύπανσης συμβάσεις. Συγκεκριμένα, τα παραρτήματα της MARPOL είναι:

Παράρτημα I: Ρύπανση από πετρελαιοειδή

Παράρτημα II: Ρύπανση από υγρές επιβλαβείς ουσίες χύμα

Παράρτημα III: Ρύπανση από υγρές επιβλαβείς ουσίες που μεταφέρονται συσκευασμένες

Παράρτημα IV: Ρύπανση από λύματα

Παράρτημα V: Ρύπανση από απορρίμματα

Παράρτημα VI: Ρύπανση της ατμόσφαιρας από πλοία

Η MARPOL, η οποία θεωρείται η κύρια σύμβαση που αναφέρεται στη ρύπανση από τα εμπορικά πλοία, είναι παγκόσμιας εμβέλειας για δύο λόγους: πρώτον εφαρμόζεται σε όλες τις θαλάσσιες περιοχές δίχως γεωγραφικούς περιορισμούς και δεύτερον, οι διαδικασίες υπογραφής, επικύρωσης και αποδοχής της MARPOL ήταν ανοιχτές για οποιοδήποτε κράτος. Η εν λόγω σύμβαση αναφέρεται περισσότερο στα πλοία αντί των θαλασσίων περιοχών διότι ούτως ή άλλως τα πλοία μπορούν να αναζητηθούν

οπουδήποτε στο θαλάσσιο περιβάλλον. Εξάλλου, το κείμενο της MARPOL δεν αναφέρεται σε θαλάσσιες περιοχές αλλά εφαρμόζεται και στα εσωτερικά ύδατα των παράκτιων περιοχών, όπως πχ. κόλποι, όρμοι, δέλτα ποταμών, λιμένες.

Οι περισσότεροι κανονισμοί της MARPOL αναφέρονται σε ζητήματα σχεδιασμού, κατασκευής και εξοπλισμού των πλοίων, επιθεωρήσεων και Ευκολίες Υποδοχής Καταλοίπων στα λιμάνια. Η σύμβαση δηλαδή καλύπτει όλα τα ζητήματα τεχνικής φύσεως για τη ρύπανση της θάλασσας από τα εμπορικά πλοία εκτός από τις εσκεμμένες απορρίψεις υλικών (dumping) και εφαρμόζεται σε όλους τους τύπους των εμπορικών πλοίων εκτός αυτών που χρησιμοποιούνται για την εξόρυξη και εκμετάλλευση της υφαλοκρηπίδας και του βυθού των θαλασσών (πχ. πλατφόρμες και γεωτρύπανα εξόρυξης υποθαλάσσιου πετρελαίου και φυσικού αερίου).

Η MARPOL έχει κυρωθεί από τη χώρα μας με τον Ν.1269/1982 (Παραρτήματα Ι – V) και Ν.3104/2003 (Παράρτημα VI).

4.3 Θεσμικό πλαίσιο στην Ελλάδα

Η προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος αποτελεί στην Ελλάδα συνταγματική επιταγή σύμφωνα με το άρθρο 24. Για τη διαφύλαξή του το κράτος έχει υποχρέωση να λαμβάνει ιδιαίτερα προληπτικά και κατασταλτικά μέτρα. Το Υπουργείο Προστασίας του Πολίτη/Λιμενικό Σώμα είναι ο κατεξοχήν αρμόδιος φορέας για την πρόληψη της ρύπανσης της θάλασσας και των ελληνικών ακτών και την καταπολέμηση των περιστατικών ρύπανσης που προέρχονται από πλοία και χερσαίες πηγές και μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο τα συμφέροντα του κοινωνικού συνόλου ή να οδηγήσουν στην υποβάθμιση του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Σύμφωνα με το Π.Δ 242/99(ΦΕΚ.201Α/99) Άρθρο 21 η Διεύθυνση Προστασίας Θαλασσιού Περιβάλλοντος είναι αρμόδια για την πρόληψη και καταπολέμηση των περιστατικών ρύπανσης της θάλασσας και των ακτών και τη λήψη κατάλληλων νομοθετικών μέτρων με βάση την Εθνική και Διεθνή νομοθεσία. Η Διεύθυνση αυτή, συγκροτείται από τα εξής τμήματα: Πρόληψης και Αντιμετώπισης Ρύπανσης, Μελετών και Προγραμματισμού, Διεθνούς Συνεργασίας σε θέματα θαλάσσιου περιβάλλοντος, Τεχνικού Εξοπλισμού.

Για την προστασία λοιπόν του θαλάσσιου περιβάλλοντος, όπου με τον όρο αυτό εννοείται το σύνολο των ενεργειών, μέτρων και έργων που έχουν στόχο την πρόληψη της υποβάθμισης του περιβάλλοντος ή την αποκατάσταση, διατήρηση ή βελτίωσή του, το ΥΠτΠ/ΛΣ/ΔΠΘΠ προβαίνει στις ακόλουθες ενέργειες:

- Τη λήψη των κατάλληλων νομοθετικών, διοικητικών και οργανωτικών μέτρων και την παρακολούθηση του έργου των Διεθνών Οργανισμών που ασχολούνται με τα θέματα αυτά.
- Την επιτήρηση της θάλασσας και των ακτών και την εκπόνηση / έγκριση/ εφαρμογή σχεδίων έκτακτης ανάγκης για τη πρόληψη και την καταπολέμηση της ρύπανσης.
- Την εφαρμογή της νομοθεσίας για την πρόληψη της ρύπανσης.
- Τον συντονισμό των ενεργειών για την αντιμετώπιση των περιστατικών ρύπανσης της θάλασσας και των ακτών.

- Την ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του κοινού και των ναυτικών.
- Την διερεύνηση κάθε περιστατικού ρύπανσης της θάλασσας ή των ακτών, από πλοία ή πηγές ξηράς.
- Την επιβολή των προβλεπόμενων κυρώσεων στους παραβάτες, και τέλος
- Την δημιουργία και περαιτέρω επέκταση του δικτύου Περιφερειακών Σταθμών Καταπολέμησης Ρύπανσης της θάλασσας (ΠΣΚΡ) από πετρελαιοειδή στις πλέον ευαίσθητες περιοχές, πλησίον των θαλασσιών οδών αυξημένης θαλάσσιας κυκλοφορίας πλοίων και στα λιμάνια που παρουσιάζουν αυξημένη ναυτιλιακή κίνηση.

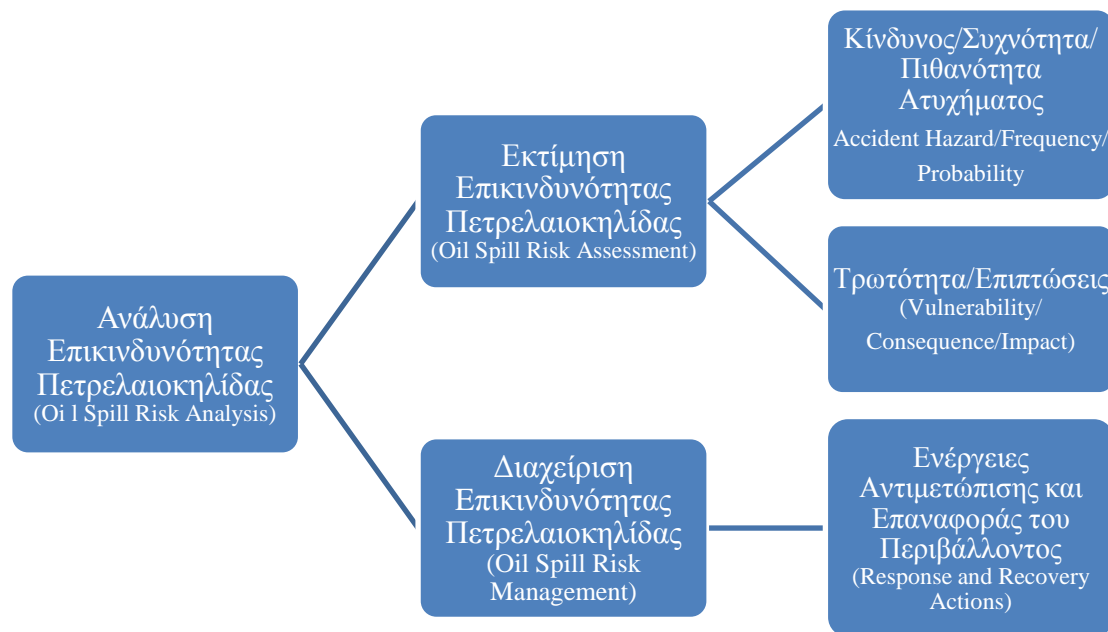
ΕΘΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ και ΚΟΙΝΟΤΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ

- Ν. 1650/1986 Για την προστασία του περιβάλλοντος
- Π.Δ. 55/1998 Προστασία του θαλάσσιου Περιβάλλοντος (κωδικοποίηση του Ν. 743/1977).
 - Υποχρεώσεις πλοίων και δεξαμενοπλοίων
 - Υποχρεώσεις εγκαταστάσεων
 - Υποχρεώσεις υπευθύνων ρύπανσης
 - Υποχρεώσεις Οργανισμών Λιμένων και Λιμενικών Ταμείων
 - Μεταγγίσεις πετρελαίου
 - Ευκολίες υποδοχής
 - Κυρώσεις: Ποινικές (φυλάκιση από 10 ημέρες μέχρι 5 χρόνια), Διοικητικές (πρόστιμα επιβαλλόμενα από τις Λιμενικές Αρχές μέχρι και τους Υπουργούς ΥΠτΠ και ΥΠΕΚΑ), Πειθαρχικές (προσωρινή ή οριστική στέρηση του ναυτικού
 - Διάθεση εσόδων από τα πρόστιμα: «Γαλάζιο Ταμείο»
- Π.Δ. 11/2002 Εθνικό Σχέδιο Έκτακτης Ανάγκης για την αντιμετώπιση περιστατικών ρύπανσης από πετρέλαιο και άλλες επιβλαβείς ουσίες.
- Κ.Υ.Α. 3418/07/2002 Μέτρα και όροι για τις λιμενικές εγκαταστάσεις παραλαβής αποβλήτων που παράγονται στα πλοία και καταλοίπων φορτίου (οδηγία 2000/59/ΕΚ)
- Υ.Α. 2411.1/07/2003 Οδηγίες/ διαδικασίες για την αντιμετώπιση περιστατικών πλοίων που βρίσκονται σε κατάσταση ανάγκης ή κινδύνου σύμφωνα με τις απαιτήσεις του άρθρου 20 της Οδηγίας 2002/59/ΕΚ – Ορισμός περιοχών καταφυγής.
- Ν. 3497/2006 (ΦΕΚ Α΄ 219/13.10.2006) Κύρωση του Πρωτοκόλλου περί συνεργασίας για την πρόληψη της ρύπανσης από πλοία και σε περιπτώσεις επείγουσας ανάγκης στην καταπολέμηση της ρύπανσης της Μεσογείου.

5. Εκτίμηση Επικινδυνότητας Πετρελαιοκηλίδας (Oil Spill Risk Assessment)

Οι πετρελαιοκηλίδες θέτουν σοβαρή απειλή στο θαλάσσιο περιβάλλον και ασκούν σημαντική πίεση σε φορείς που είναι υπεύθυνοι για την αντιμετώπισή τους και τις επιχειρήσεις αποκατάστασης, όπως οι πετρελαϊκές εταιρείες και οι δημόσιες αρχές. Γι' αυτό το λόγο, φέρνουν στο προσκήνιο τη σημασία του αποδοτικού σχεδιασμού κρίσεων και την ανάλυση της επικινδυνότητας που επιφυλάσσουν.

Σε αυτό το κεφάλαιο λοιπόν γίνεται η ανάλυση του βασικού αντικειμένου της εργασίας-της εκτίμησης της επικινδυνότητας ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας. Στις διάφορες σχετικές βιβλιογραφίες υπάρχουν πολλές φορές διαφορές ανάμεσα στη χρήση των εννοιών «ανάλυση», «εκτίμηση» και «διαχείριση» της επικινδυνότητας. Πιο συγκεκριμένα, κατά τους Ulusu et al. (2009), η γενικότερη έννοια είναι αυτή της εκτίμησης της επικινδυνότητας, η οποία περιλαμβάνει την ανάλυση και τη διαχείριση, ενώ κατά τους Santos et al. (2013), η γενικότερη έννοια είναι αυτή της ανάλυσης η οποία περιλαμβάνει την εκτίμηση και τη διαχείριση. Στη συγκεκριμένη εργασία υιοθετήθηκε ο τρόπος των Santos et al, καθώς η ερμηνεία των εννοιών κατά αυτό των τρόπο θεωρήθηκε ευκρινέστερη (Σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.1 Διάγραμμα ανάλυσης επικινδυνότητας πετρελαιοκηλίδας που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία (πηγή: Santos et al., 2013)

Σε αυτό το σημείο πρέπει να γίνει σαφές τι εννοείται με τον όρο «επικινδυνότητα». Μια περιγραφή είναι «η πιθανότητα εμφάνισης ενός δυσμενούς γεγονότος, απειλής ή ζημιάς και του αντίκτυπου που θα έχει όταν εμφανιστεί». Είναι τεράστια πρόκληση να αξιολογηθούν οι κίνδυνοι και να ληφθεί η απόφαση σχετικά με το πώς να διαχειριστούν καλύτερα στη σύνθετη σύγχρονη κοινωνία. Είναι δύσκολο να

εκτιμηθούν όλες οι πτυχές ενός κινδύνου ή να επιτηρηθούν όλες οι συνέπειες ενός μέτρου αντιμετώπισης. Θα υπάρξουν πολλά κενά ή αβεβαιότητες στη γνώση. Η ανάλυση της επικινδυνότητας είναι ένας συστηματικός τρόπος να αξιολογηθούν πληρέστερα οι κίνδυνοι, να επιτευχθεί διαφάνεια στην πολυπλοκότητα και να εξεταστούν οι αβεβαιότητες ή τα κενά γνώσης. Η ανάλυση της επικινδυνότητας διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων αντιμετώπισης μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης και αποτελείται από δύο φάσεις: την εκτίμηση της επικινδυνότητας (risk assessment) και τη διαχείρισή της (risk management).

Η εκτίμηση της επικινδυνότητας αναφέρεται στις ενέργειες εκείνες που προλαμβάνουν ένα πιθανό ατύχημα και περιλαμβάνει την αναγνώριση του κινδύνου (hazard identification) και την αξιολόγησή του ως προς τις επιπτώσεις που θα επιφέρει στο φυσικό και ανθρώπινο περιβάλλον (vulnerability analysis). Η διαχείριση με τη σειρά της αναφέρεται στις ενέργειες που ακολουθούν την περίπτωση ενός πραγματικού ατυχήματος. Συγκεκριμένα αναφέρεται στη λήψη αποφάσεων για τους τρόπους αντιμετώπισης του ατυχήματος και την επαναφορά του περιβάλλοντος στην αρχική ή και σε βελτιωμένη κατάσταση (response and recovery actions). Είναι δύο φάσεις αλληλένδετες, καθώς η μία μπορεί να οδηγήσει στην αναθεώρηση της άλλης.

Η εκτίμηση επομένως περιβαλλοντικού κινδύνου, το οποίο μελετάται στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, συνίσταται ως η εκτίμηση της πιθανότητας μια ανθρώπινη δραστηριότητα, η διάχυση πετρελαίου στη θάλασσα, να έχει αρνητική επίπτωση στο περιβάλλον.

5.1 Καταστάσεις Έκτακτης Ανάγκης (Emergencies)

Ένα ατύχημα πετρελαιοκηλίδας ανήκει σε μία ανθρωπογενή, όπως προκύπτει παρακάτω, κατάσταση έκτακτης ανάγκης και η μελέτη των φάσεων μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης κρίνεται χρήσιμη για την ανάλυση της επικινδυνότητάς τους. Σύμφωνα με την ESRI 2000 («GIS Technology for Disasters and Emergency Management»), ως κατάσταση έκτακτης ανάγκης ορίζεται η οποιαδήποτε απόκλιση από την προγραμματισμένη ή την αναμενόμενη συμπεριφορά ή μια σειρά γεγονότων που θέτει σε κίνδυνο ή επηρεάζει αρνητικά ανθρώπους, περιουσίες ή το περιβάλλον. Μια τέτοια κατάσταση μετατρέπεται σε καταστροφή όταν εξαντλεί την ικανότητα των τοπικών φορέων να τη διαχειριστούν και συνήθως οδηγεί σε μεγάλες ζημιές και απώλειες. Ως διακινδύνευση (risk) ορίζεται η πιθανότητα ή το ενδεχόμενο να λάβει χώρα μία κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Για παράδειγμα, η διακινδύνευση να καταστραφεί μία κατασκευή από σεισμό είναι μεγάλη, αν αυτή η κατασκευή βρίσκεται σε περιοχή που υπάρχει ενεργό σεισμικό ρήγμα, ενώ είναι χαμηλή αν η περιοχή είναι απομακρυσμένη από σεισμικά ρήγματα. Αντίθετα ο κίνδυνος (hazard) αναφέρεται γενικά σε φαινόμενα που μπορεί να προκαλέσουν μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Για παράδειγμα ένα σεισμικό ρήγμα ή ένα ενεργό ηφαίστειο αποτελούν κινδύνους. Οι δύο έννοιες επεξηγούνται αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο.

Ξεχωρίζουν οι εξής γενικοί τύποι καταστάσεων έκτακτης ανάγκης:

- *Ανθρωπογενείς-περιλαμβάνονται τα απρόσμενα γεγονότα ή ατυχήματα που προκύπτουν από την ανθρώπινη δραστηριότητα ή ανάπτυξη όπως πχ. πετρελαιοκηλίδες, πυρηνική ακτινοβολία, επιδημίες, εκρήξεις, πυρκαγιές*
- *Φυσικές καταστροφές- περιλαμβάνονται τα απρόσμενα γεγονότα που συμβαίνουν ως αποτέλεσμα φυσικών διαδικασιών, όπως σεισμοί, τυφώνες, τσουνάμι, παγετοί, χιονοθύελλες, υπερβολική ζέστη ή κρύο, ξηρασία, μόλυνση από έντομα*
- *Εσωτερικές διαταραχές- περιλαμβάνονται γεγονότα ή ενέργειες σχεδιασμένες από μία ομάδα ανθρώπων (ή και ατομικές) που στοχεύουν στην πρόκληση αναστάτωσης, όπως επαναστάσεις και διαδηλώσεις, βίαιες απεργίες*
- *Ελλείψεις ενέργειας ή υλικών- πρόκειται για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης λόγω ελλείψεων και περιλαμβάνουν απεργίες, πόλεμο τιμών και απουσία πόρων*
- *Επιθέσεις-περιλαμβάνονται μεγάλης κλίμακας δράσεις τρομοκρατίας ή πόλεμοι χρησιμοποιώντας πυρηνικά, συμβατικά ή βιολογικά όπλα.*

Οι φάσεις μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης είναι οι παρακάτω:

- *Σχεδιασμός (Planning)- ενέργειες απαραίτητες για την ανάλυση και την τεκμηρίωση της πιθανότητας μιας καταστροφής ή μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης και τις ενδεχόμενες επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή και περιουσία και το περιβάλλον. Περιλαμβάνεται δηλαδή η εκτίμηση του κινδύνου, της διακινδύνευσης, του μετριασμού, της προετοιμασίας, της αντιμετώπισης και της επαναφοράς του περιβάλλοντος.*
- *Μετριασμός (Mitigation): πρόκειται για ενέργειες που αποσκοπούν τόσο στον μετριασμό της πιθανότητας εκδήλωσης μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης (πχ ειδική αντισεισμική νομοθεσία για τα κτίρια, διαχείριση χρήσεων γης) όσο και στον μετριασμό των επιπτώσεων αυτής (πχ αραιώση της βλάστησης σε περιοχές υψηλής επικινδυνότητας έναντι πυρκαγιάς)*
- *Προετοιμασία (Preparedness): ενέργειες απαραίτητες στο σημείο που τα μέτρα μετριασμού δεν έχουν ή δεν μπορούν να εμποδίσουν μια καταστροφή. Σε αυτήν τη φάση οι κυβερνήσεις, οι οργανισμοί και ο καθένας ξεχωριστά αναπτύσσουν σχέδια για την ελαχιστοποίηση της ζημιάς λόγω της καταστροφής (πχ αποθέματα πόρων, δοκιμαστικές ασκήσεις, εγκατάσταση συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης). Τα μέτρα προετοιμασίας στοχεύουν επίσης στη βελτίωση των ενεργειών αντιμετώπισης της καταστροφής (πχ αποθήκευση βασικών τροφών και ιατρικών παροχών, κινητοποιώντας το προσωπικό αντιμετώπισης να βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής).*
- *Αντιμετώπιση (Response): είναι οι ενέργειες που ακολουθούν μετά από μια καταστροφή ή μια επείγουσα κατάσταση. Είναι σχεδιασμένες ώστε να παρέχουν βοήθεια στα θύματα της καταστροφής (διάσωση, καταφύγιο, ιατρική βοήθεια, τροφή). Επίσης στοχεύουν να σταθεροποιήσουν την*

κατάσταση και να συμβάλουν στην αποφυγή εκδήλωσης δεύτερου συμβάντος και να επιταχύνουν την επιχείρηση επαναφοράς του περιβάλλοντος.

- Επαναφορά (Recovery): ενέργειες απαραίτητες για την επαναφορά όλων των συστημάτων στο φυσιολογικό επίπεδο-ή και σε καλύτερο. Χωρίζονται σε δύο είδη ενεργειών-τις βραχυπρόθεσμες (πχ καθαρισμός, προσωρινή στέγαση) και τις μακροπρόθεσμες οι οποίες μπορεί να συνεχίζονται και για χρόνια μετά την εκδήλωση της καταστροφής (πχ αναπτυξιακά δάνεια, νομική βοήθεια, κοινωνικός σχεδιασμός).

Η εκτίμηση της επικινδυνότητας επομένως αναφέρεται, όπως προκύπτει από τα παραπάνω, στις τρεις πρώτες φάσεις μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης, δηλαδή στο σχεδιασμό, τον μετριασμό της πιθανότητας και των επιπτώσεων και στην προετοιμασία έναντι πιθανού ατυχήματος (planning, mitigation, preparedness).

5.2 Η αξία μιας μελέτης εκτίμησης της επικινδυνότητας

Η παρούσα εργασία ασχολείται όπως έγινε σαφές με το στάδιο της εκτίμησης της διακινδύνευσης/επικινδυνότητας (risk assessment), δηλαδή τις ενέργειες εκείνες που προλαμβάνουν ένα ατύχημα πετρελαιοκηλίδας. Η σπουδαιότητα και η αξία της διαδικασίας εκτίμησης της επικινδυνότητας και η ύπαρξη ενός σχεδίου διαχείρισης μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης (contingency plan) είναι μεγάλη γιατί μπορεί να συμβάλει στην πρόληψη και την αποτροπή του κινδύνου, ενώ αν αυτός συμβεί, στον μετριασμό των επιπτώσεών του και στην κατάλληλη αντιμετώπισή του, στην εξοικονόμηση χρόνου και χρημάτων και ίσως και στη σωτηρία ανθρώπινων ζωών. Είναι απαραίτητη όχι μόνο σε περιπτώσεις μελέτης περιβαλλοντικού κινδύνου και αποφυγής φυσικών καταστροφών αλλά σε κάθε επιχείρηση, στον τομέα της υγείας, στους κυβερνητικούς φορείς και γενικότερα βρίσκει εφαρμογή σε κάθε φορέα και οργάνωση της σύγχρονης οικονομίας.

Πέρα από τις καταστροφικές συνέπειες που μπορεί να έχει ένα ατύχημα πετρελαιοκηλίδας στο οικοσύστημα της περιοχής ή στην κοινωνική ή/και τουριστική της αξία, είναι γεγονός όπως αποδείχτηκε παραπάνω ότι η απορρύπανση από το πετρέλαιο είναι πάρα πολύ δαπανηρή. Αποτελεσματικές ενέργειες απαιτούν προσεκτικό σχεδιασμό και συνεχή έλεγχο και εκτίμηση, καθώς και μεγάλο αριθμό εκπαιδευμένου προσωπικού και αποτελεσματικού εξοπλισμού. Το κόστος είναι σε πολλές περιπτώσεις ακόμα μεγαλύτερο, από τις καταστροφές που προκύπτουν λόγω εφαρμογής κακών επιχειρήσεων καθαρισμού ή από πετρελαιοκηλίδες που πλήττουν ευαίσθητες περιοχές. Το κλειδί για τον έλεγχο και περιορισμό του κόστους είναι η μείωση των καταστροφών που προκύπτουν στο περιβάλλον και περιουσίες. Η καλύτερη στρατηγική στη μείωση των καταστροφών αυτών είναι η αφαίρεση όσο το δυνατόν περισσότερου πετρελαίου από το περιβάλλον και η παρεμπόδιση του πετρελαίου να πλήξει τις ακτές και άλλες ευαίσθητες περιοχές. Ο μόνος τρόπος για μια αποτελεσματική επιχείρηση απορρύπανσης είναι η ταχύτατη δραστηριοποίηση,

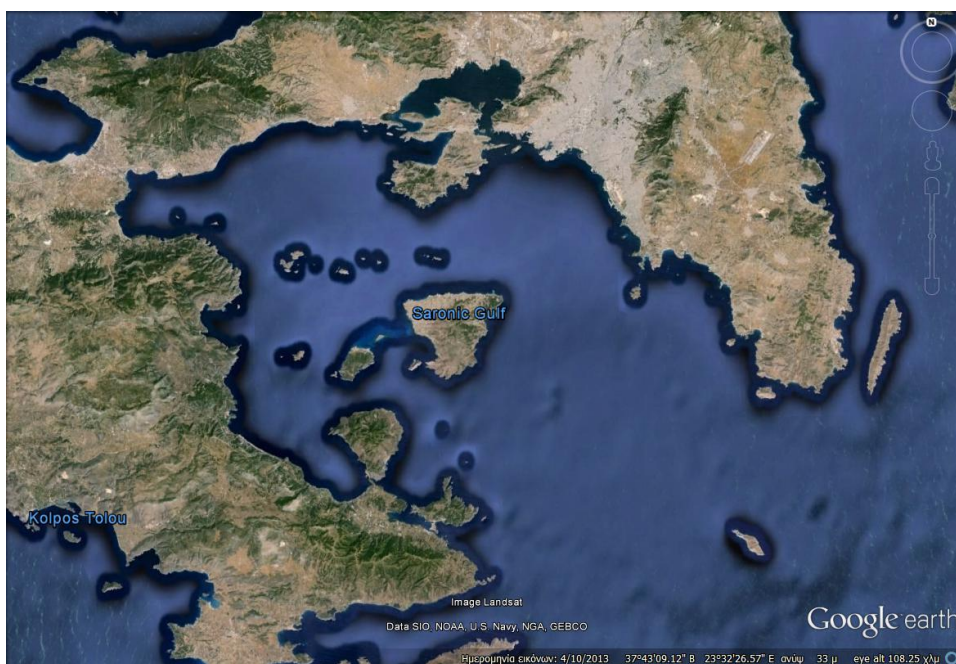
κάτι που είναι δυνατό μόνο αν έχουν προηγηθεί μελέτες για την ανάλυση της επικινδυνότητας ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας. Είναι λοιπόν προφανή τα οφέλη μιας τέτοιας μελέτης.

Ο ρόλος μιας μελέτης εκτίμησης περιβαλλοντικής επικινδυνότητας είναι αλληλένδετος και με τις ενέργειες διαχείρισης του ατυχήματος, εάν αυτό τελικά συμβεί, καθώς ανάλογα με την εκάστοτε τοποθεσία του ατυχήματος, την ποσότητα του διαρρέοντος πετρελαίου και τις περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής, η ίδια μπορεί να οδηγήσει στην αναθεώρηση των κατεστημένων ενεργειών αντιμετώπισης του κινδύνου και στην λήψη της σωστής απόφασης και των κατάλληλων μέτρων για τη διαχείριση του εκάστοτε ατυχήματος.

6. Περιγραφή της Περιοχής Μελέτης

Η εκτίμηση της επικινδυνότητας ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας εφαρμόζεται στην παρούσα εργασία στην περιοχή του Σαρωνικού κόλπου. Προτού όμως αναλυθούν οι μεθοδολογίες εκτίμησης της επικινδυνότητας, είναι απαραίτητη η παρουσίαση και περιγραφή των χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης.

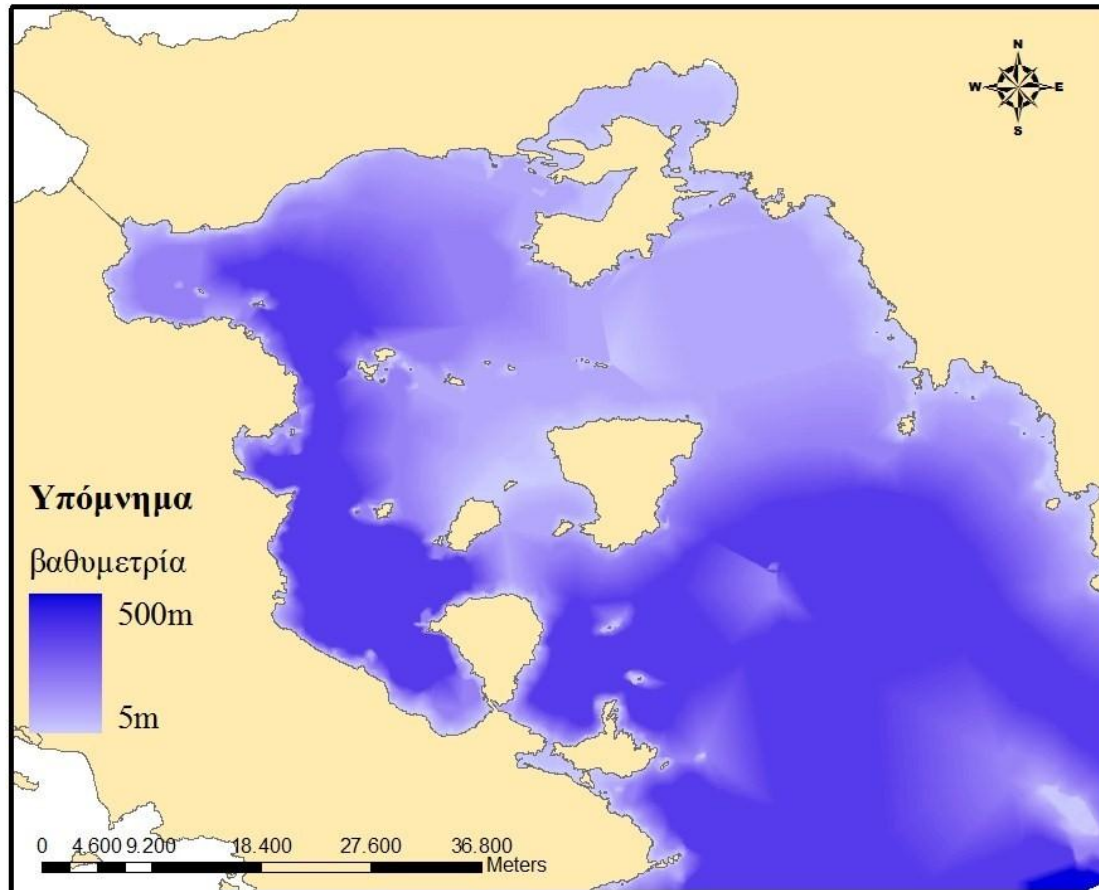
Ο Σαρωνικός Κόλπος (Χάρτης 6.1) βρίσκεται ανάμεσα στις ακτές της Αττικής και της Πελοποννήσου και συνδέεται με το Αιγαίο πέλαγος στο νότιο τμήμα του με ένα άνοιγμα 40 km που εκτείνεται από το ακρωτήριο του Σουνίου (βόρεια) μέχρι το Σκύλλαιο της Τροιζήνας (νότια) στις ακτές της Πελοποννήσου. Το βάθος του νερού ποικίλλει φτάνοντας τα 400 m κυρίως στα δυτικά τμήματα. Επικρατούν κυρίως άνεμοι από βόρειες κατευθύνσεις. Περικλείει πολλά νησιά και βραχονησίδες, τα μεγαλύτερα εκ των οποίων είναι η Αίγινα, η Σαλαμίνα και ο Πόρος. Περιλαμβάνει πάνω από 30 λιμάνια διαφόρων χρήσεων, στα οποία ανήκει και το λιμάνι του Πειραιά, το μεγαλύτερο και πιο απασχολούμενο λιμάνι της Ελλάδας, δεχόμενο κυρίως επιβατικά πλοία. Περιλαμβάνει και μικρότερους κόλπους, όπως αυτός της Ελευσίνας. Στις ακτές του Σαρωνικού δημιουργήθηκαν οι σημαντικότερες βιομηχανικές, ναυτικές, λιμενικές και ναυπηγοεπισκευαστικές εγκαταστάσεις της χώρας. Εξαιτίας της θέσης του κοντά στην πρωτεύουσα, την Αθήνα, ο ρόλος του είναι πολύ σημαντικός στην οικονομία. Έχει ιδιαίτερη ναυτιλιακή σημασία όχι μόνο για τις θαλάσσιες συγκοινωνίες πολλών εκ των οποίων αποτελεί αφετηρία αλλά και από το γεγονός ότι συνδέει μέσω του ισθμού της Κορίνθου το Αιγαίο πέλαγος με το Ιόνιο. Ακριβώς αυτή η μεγάλη ναυτιλιακή κίνηση που παρουσιάζει, αυξάνει την πιθανότητα εκδήλωσης ατυχήματος. Επίσης, υπάρχουν κατά μήκος του πολυάριθμες παραλίες και φυσικές προστατευόμενες περιοχές. Όλοι οι παραπάνω λόγοι αιτιολογούν την επιλογή της συγκεκριμένης περιοχής ως περιοχής μελέτης στην παρούσα εργασία.



Χάρτης 6.1 Σαρωνικός κόλπος (πηγή: www.google.com/earth)

6.1 Βαθυμετρία

Το βάθος του νερού ποικίλλει φτάνοντας τα 400 m κυρίως στα δυτικά τμήματα. Ο Χάρτης 6.2 απεικονίζει τη βαθυμετρία του κόλπου:



Χάρτης 6.2 Βαθυμετρία Σαρωνικού Κόλπου (ψηφιακά δεδομένα από τον καθηγητή Ε.Μ.Π. κ. Α. Τσούλο, προσωπική επεξεργασία στο Gis)

6.2 Μετεωρολογικά δεδομένα

Τα δεδομένα για τον άνεμο, δηλαδή η διεύθυνση και η ένταση του ανέμου που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία αποκτήθηκαν από μετρήσεις του Μετεωρολογικού Σταθμού στο Ελληνικό που βρίσκεται σε γειτνίαση με το Σαρωνικό κόλπο. Ο Πίνακας 5.1 παρουσιάζει την ετήσια συχνότητα (%) παρατηρήσεων της διεύθυνσης και της εντάσεως του ανέμου στην κλίμακα Beaufort σε 15 m υψόμετρο.

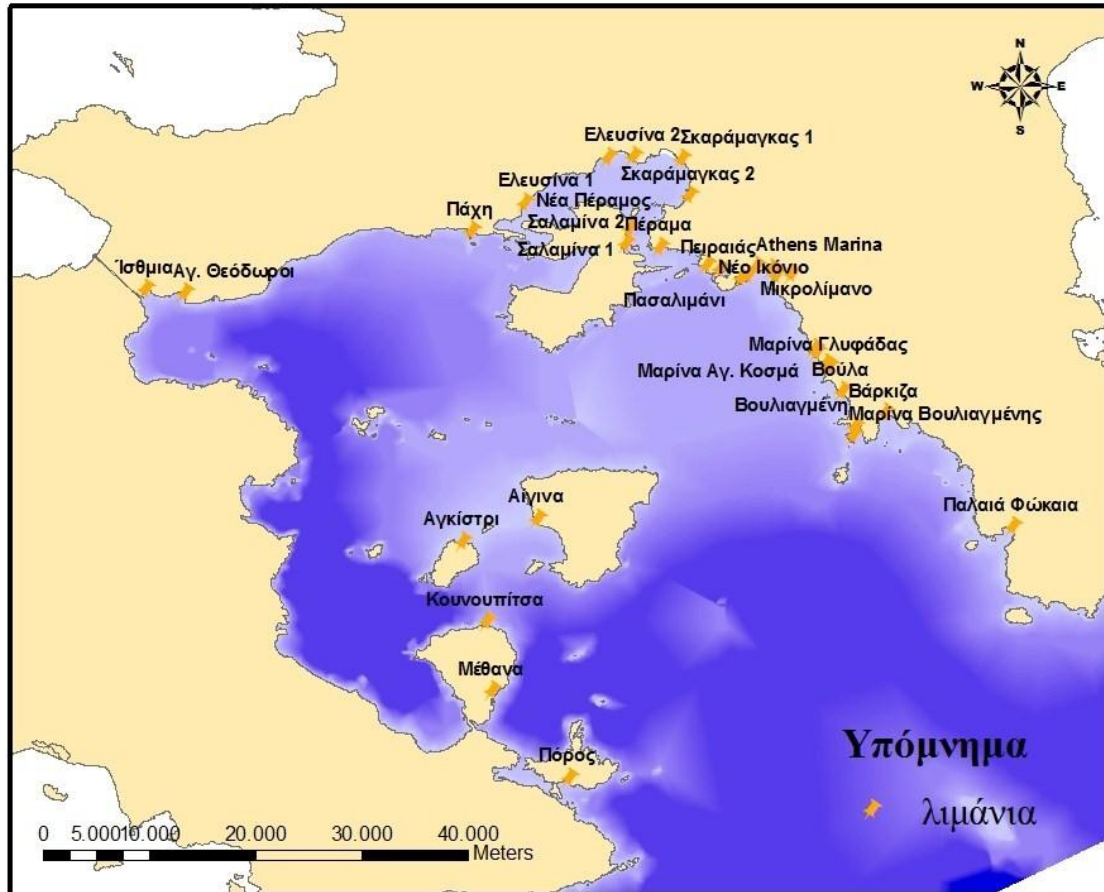
Πίνακας 6.1 Ετήσια συχνότητα (%) διεύθυνσης του ανέμου και αντίστοιχης έντασης (κλίμακα Bf), παρατηρήσεις στις 06:00, 12:00, 18:00 GMT (Σταθμός Ελληνικού, περίοδος 1955-1998)

Beaufort	B	BA	A	NA	N	ΝΔ	Δ	ΒΔ	ΝΗΝΕΜΙΑ	ΣΥΝΟΛΟ
0									18,109	18,109
1	0,953	0,668	0,482	0,362	0,603	0,482	0,646	0,635		4,831
2	4,82	3,396	1,917	2,607	3,966	3,856	2,859	3,013		26,434
3	5,752	4,404	1,632	1,994	4,177	3,232	1,972	2,531		25,691
4	5,390	4,875	1,435	0,920	1,872	0,909	0,668	1,775		17,845
5	1,775	1,687	0,296	0,208	0,471	0,186	0,208	0,548		5,379
6	0,493	0,416	0,088	0,044	0,110	0,055	0,066	0,153		1,425
7	0,077	0,055	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,022		0,209
8	0,022	0,011	0,011	0	0,011	0,011	0	0,011		0,077
9	0	0	0	0	0	0	0	0		0
10	0	0	0	0	0	0	0	0		0
>11	0	0	0	0	0	0	0	0		0
ΣΥΝΟΛΟ	19,282	15,512	5,872	11,219	11,219	8,742	6,43	8,688	18,109	100

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 5.1, οι συχνότεροι άνεμοι που πνέουν στο Σαρωνικό κόλπο είναι βόρειας διεύθυνσης (B, ΒΔ και ΒΑ) με συνολική ετήσια συχνότητα 43,5%. Η ένταση αυτών των ανέμων κυμαίνεται κυρίως μεταξύ 2-4 bf με ετήσια συχνότητα 36%. Άνεμοι νότιας διεύθυνσης (N, ΝΔ και ΝΑ) έχουν ετήσια συνολική συχνότητα ίση με 26,1 % εντάσεως επίσης 2-4 bf. Η νηνεμία τέλος επικρατεί στον κόλπο για το 18,1% του έτους.

6.3 Λιμάνια

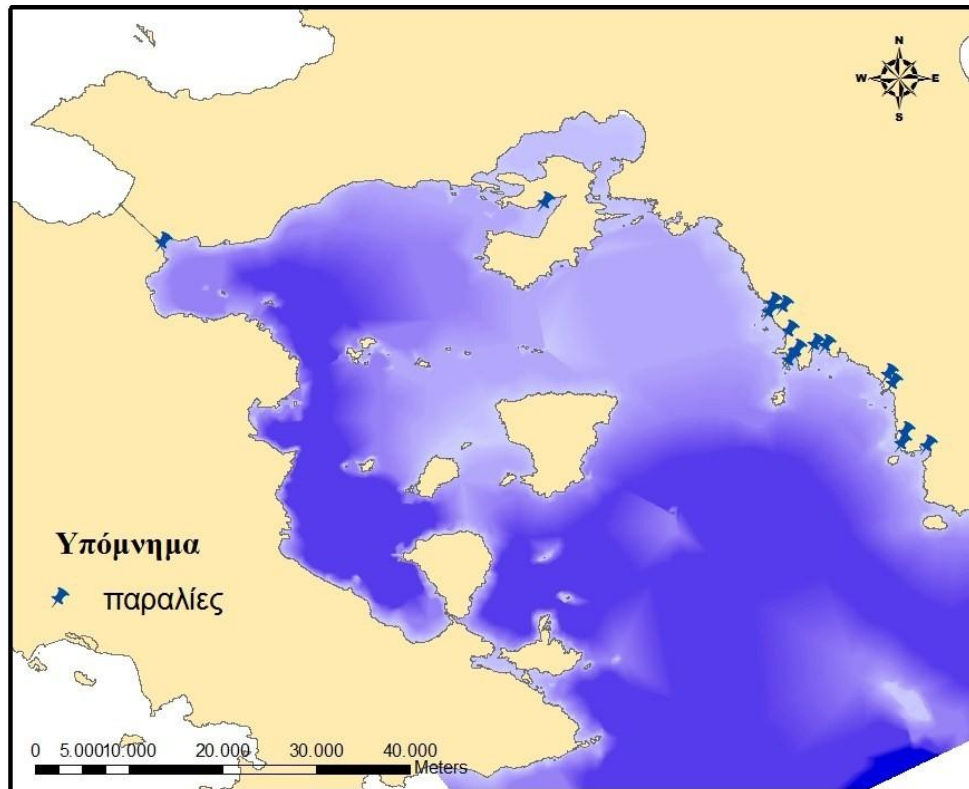
Ο Σαρωνικός κόλπος περιλαμβάνει περισσότερα από 30 λιμάνια που προσφέρουν διάφορες χρήσεις, όπως εξυπηρέτηση επιβατών, φορτηγών πλοίων και τάνκερ, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, εγκαταστάσεις λιμένων και διυλιστήρια, στρατιωτικές εγκαταστάσεις, εξυπηρετούν σκάφη αναψυχής και αλιευτικά καθώς και αθλητικές εγκαταστάσεις. Στο Χάρτη 5.3 φαίνεται η τοποθεσία των λιμανιών αυτών.



Χάρτης 6.3. Τα κυριότερα λιμάνια του Σαρωνικού κόλπου (προσωπική επεξεργασία στο GIS)

6.4 Περιοχές περιβαλλοντικής σημασίας

Πολλές περιοχές ιδιαίτερου φυσικού κάλλους και περιβαλλοντικής αξίας περιλαμβάνονται στο Σαρωνικό κόλπο. Ο Χάρτης 5.4 απεικονίζει τις παραλίες που χαρακτηρίστηκαν με «γαλάζια σημαία» για την υψηλή ποιότητα των νερών τους για το έτος 2010 (πηγή: Δημόσια, Ανοικτά Δεδομένα, <http://geodata.gov.gr/geodata>, δεδομένα 2010).



Χάρτης 6.4 Παραλίες με Γαλάζια Σημαία (πηγή: <http://geodata.gov.gr/geodata>, δεδομένα 2010, προσωπική επεξεργασία στο Gis)

Στους Χάρτες 6.5, 6.6, 6.7 απεικονίζονται οι περιοχές Natura, οι βιότοποι Corine και τα Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους που ανήκουν στην ευρύτερη περιοχή του Σαρωνικού κόλπου, σύμφωνα με στοιχεία της Βάσης «Φιλότης»- Δεδομένα για την Ελληνική Φύση (<http://filotis.itia.ntua.gr/home/>). Οι περιοχές Natura είναι περιοχές με πλούσια χλωρίδα και πανίδα που προστατεύονται από το νόμο, ενώ οι βιότοποι Corine υποδηλώνουν ευαίσθητα οικοσυστήματα και ενδιαίτηματα. Όσον αφορά τα Τοπία Ιδιαίτερα Φυσικού Κάλλους πρόκειται για τοπία με ιδιαίτερη φυσική ομορφιά που το τοπίο τους είναι τόσο πολύτιμο ώστε να χρήζουν ιδιαίτερη προστασία.



Χάρτης 6.5 Περιοχές Natura (πηγή: <http://filotis.itia.ntua.gr/home/>)



Χάρτης 6.6 Βιότοποι Corine (πηγή: <http://filotis.itia.ntua.gr/home/>)



Χάρτης 6.7 Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους (πηγή: filotis.itia.ntua.gr/home/)

Είναι φανερό πως υπάρχουν πολυάριθμες περιοχές υψηλής περιβαλλοντικής σημασίας στις παράκτιες περιοχές του Σαρωνικού κόλπου. Αυτό υποδεικνύει τις καταστροφικές συνέπειες που θα είχε ένα ατύχημα πετρελαιοκηλίδες στα οικοσυστήματα και στους οργανισμούς των περιοχών αυτών. Έτσι η ανάγκη για εκτίμηση της επικινδυνότητας των ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας γίνεται ακόμα πιο επιτακτική.

7. Μοντέλο Πετρελαιοκηλίδας και Υδροδυναμικό Μοντέλο

Απαραίτητα συστατικά για τις μεθοδολογίες εκτίμησης της επικινδυνότητας ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας είναι τα αποτελέσματα που προκύπτουν από ένα μοντέλο πετρελαιοκηλίδας, το οποίο θα μελετήσει τη τροχιά και τη συμπεριφορά της πετρελαιοκηλίδας στο εκάστοτε θαλάσσιο περιβάλλον με τις ισχύουσες περιβαλλοντικές συνθήκες. Ένα μοντέλο πετρελαιοκηλίδας με τη σειρά του, χρειάζεται ως δεδομένα τα αποτελέσματα ενός υδροδυναμικού μοντέλου (εκτός εάν πρόκειται για συνδυαστικά μοντέλα πετρελαιοκηλίδας που τρέχουν ταυτόχρονα τα δύο μοντέλα, βλ. 7.1.2) που αφορούν το πεδίο ροής και τα θαλάσσια ρεύματα της εκάστοτε περιοχής μελέτης, παράγοντας καθοριστικός για την τροχιά της πετρελαιοκηλίδας. Κρίνεται επομένως απαραίτητο σε αυτό το σημείο να γίνει μια συνοπτική αναφορά στα ευρέως χρησιμοποιούμενα μοντέλα και μια αναλυτικότερη στα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα εργασία, τα οποία αναπτύχθηκαν από τον Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Stamou et al., 2013).

7.1 Γενική αναφορά σε υπάρχοντα μοντέλα πετρελαιοκηλίδας

Η τύχη και η συμπεριφορά μιας ποσότητας χυμένου πετρελαίου μπορεί να επηρεαστεί, όπως αναφέρθηκε στο 2.4 από εννέα φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες: μεταφορά, διάδοση, εξάτμιση, διάλυση, γαλακτωματοποίηση, διασπορά, αυτό-οξειδωση, βιοαποικοδόμηση και βύθιση / καθίζηση. Οι προβλέψεις για την τύχη του πετρελαίου ή / και την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ή τον κίνδυνο της διαρροής βασίζεται κυρίως σε μοντέλα πετρελαιοκηλίδας. Κάποια, προσομοιώνουν μόνο τη διαδικασία μεταφοράς της πετρελαιοκηλίδας χωρίς να περιλαμβάνουν την διασπορά, την αποσάθρωση ή την απώλεια του διαρρέοντος πετρελαίου που μπορεί να προκύψουν αμέσως μετά τη διαρροή και ως εκ τούτου μπορεί να οδηγήσουν σε μη ρεαλιστικές εκτιμήσεις ή ανακριβείς προβλέψεις. Έχουν λοιπόν αναπτυχθεί μοντέλα για διαφορετικές απαιτήσεις, με διαφορετικούς βαθμούς πολυπλοκότητας και με διαφορετικές προσεγγίσεις για τις διάφορες διαδικασίες και καιρικές συνθήκες που αναπτύσσονται, μερικά είναι πιο σύνθετα για να παρέχουν πιο ρεαλιστικές ή ακριβείς προβλέψεις και άλλα πιο απλά στην χρήση τους. Παρακάτω παρουσιάζονται τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα μοντέλα και περιγράφονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά τους.

Ένα μοντέλο πετρελαιοκηλίδας υπολογίζει την εξέλιξη στη συμπεριφορά μιας πετρελαιοκηλίδας αμέσως μετά την ύπαρξη ατυχήματος, όσον αφορά τη μεταφορά της, τη διασπορά και τις φυσικές, βιολογικές και χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα. Ως δεδομένα για να προκύψουν αποτελέσματα από αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιούνται τα μετεωρολογικά και υδροδυναμικά στοιχεία της εκάστοτε περιοχής. Όσον αφορά τα μετεωρολογικά στοιχεία, αυτά μπορούν να αποκτηθούν είτε από ένα μοντέλο πρόγνωσης καιρού είτε από την εκάστοτε Εθνική

Μετεωρολογική Υπηρεσία. Όσον αφορά τα υδροδυναμικά στοιχεία, υπάρχουν δύο ειδών μοντέλα πετρελαιοκηλίδας:

- Τα συνδυαστικά, αυτά δηλαδή που τρέχουν το υδροδυναμικό μοντέλο και το μοντέλο πετρελαιοκηλίδας ταυτόχρονα
- Και τα απλά, μοντέλα πετρελαιοκηλίδας δηλαδή που περιλαμβάνουν μεταβλητές σχετικές με μετεωρολογικά και υδροδυναμικά στοιχεία, οι τιμές των οποίων έχουν προηγουμένως υπολογιστεί από κάποιο υδροδυναμικό μοντέλο για να εισαχθούν στη συνέχεια σ' αυτό της πετρελαιοκηλίδας.

Τα συνδυαστικά μοντέλα είναι αρκετά πολύπλοκα και συνήθως απαιτούν έναν ωκεανογράφο να ασχοληθεί με τον άνεμο και τα τρέχοντα δεδομένα εισόδου που χρειάζεται το υδροδυναμικό μοντέλο, αλλά έχουν το πλεονέκτημα να επιτυγχάνουν καλύτερη πρόβλεψη της εξέλιξης της πετρελαιοκηλίδας. Να ληφθεί υπόψη βέβαια, ότι καθώς απαιτούν περισσότερες πληροφορίες, υπάρχει ο κίνδυνος να γίνουν λάθη στα δεδομένα εισόδου, με αποτέλεσμα να εξαχθούν έτσι εσφαλμένα συμπεράσματα.

Αντίθετα, τα απλά μοντέλα πετρελαιοκηλίδας είναι πιο απλά στον χειρισμό και λιγότερο επιρρεπή σε λάθη, εμφανίζουν όμως το μειονέκτημα να είναι λιγότερο ακριβή.

Ακολουθεί μια συνοπτική αναφορά των πιο διαδεδομένων ως προς τη χρήση μοντέλων.

7.1.1 Συνδυαστικά μοντέλα

Medslík

Το Medslík (πηγή: oceanography.ucy.ac.cy/cycfos/medslík-act.html) είναι ένα τρισδιάστατο μοντέλο πετρελαιοκηλίδας σχεδιασμένο για να προβλέψει την μεταφορά, εξέλιξη και την αποσάθρωση μιας πετρελαιοκηλίδας και έχει συνδεθεί λειτουργικά με τα συστήματα πρόβλεψης ωκεανών MFS-OPA, CYCOFOS, ADRICOSM και καιρού SKIRON με εφαρμογή σε ολόκληρη τη Μεσόγειο.

Αναπτύχθηκε για πρώτη φορά το 1997 για να βοηθήσει τους στόχους του προγράμματος LIFE της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο έργο «Σχέδιο έκτακτης ανάγκης για την ετοιμότητα και την αντιμετώπιση των σοβαρών περιστατικών ρύπανσης στην Ανατολική Μεσόγειο». Οι αλγόριθμοι του μοντέλου αυτού βασίζονται σε μια παλαιότερη έκδοση, στο μοντέλο Oilrol, που χρησιμοποιήθηκε για τις προβλέψεις πετρελαίου κατά τον πόλεμο του Κόλπου το 1991. Στο πλαίσιο διαφόρων ερευνητικών προγραμμάτων της ΕΕ, το Medslík έχει βελτιωθεί σημαντικά. Το Medslík μοντέλο τροχιάς μπορεί να προβλέψει την κίνηση ενός επιπλέοντος αντικειμένου. Το δε Medslík μοντέλο ρύπου μπορεί να προβλέψει τη διασπορά των συντηρητικών και μη συντηρητικών λυμάτων.

Mohid

Το τρισδιάστατο μοντέλο Mohid (πηγή: [mohid.com /Prestige/Oil_Spills_in_MOHID .htm](http://mohid.com/Prestige/Oil_Spills_in_MOHID.htm)) αναπτύχθηκε από το Maretec (Marine and Environmental Technology Research Center) στο Τεχνικό Πανεπιστήμιο της Λισαβόνας. Το μοντέλο της πετρελαιοκηλίδας, συμπεριλαμβανομένων των ιδιοτήτων του πετρελαίου, όπως η πυκνότητα και το ιξώδες, εκμεταλλεύεται τα τρισδιάστατα αποτελέσματα του υδροδυναμικού μέρους του μοντέλου προκειμένου να προσομοιωθούν οι ακόλουθες διεργασίες αποσάθρωσης:

- 1) διάδοση
- 2) εξάτμιση
- 3) διασπορά
- 4) καθίζηση
- 5) διάλυση και
- 6) γαλακτωματοποίηση.

Επίσης περιλαμβάνονται στοιχεία για την προσάραξη του πετρελαίου και τις τεχνικές αφαίρεσης.

Oserit

Το Oserit (πηγή: [Belspo.be/ belspo/SSD/ science/ Reports/OSERIT_FinRep_AD .pdf](http://Belspo.be/belspo/SSD/science/Reports/OSERIT_FinRep_AD.pdf)) είναι ένα τρισδιάστατο πρόγραμμα που αναπτύχθηκε για την προστασία της Βόρειας Θάλασσας από τις Βελγικές Αρχές (Belgian Intervention Plan for Pollution Response at Sea). Υπολογίζει την τύχη και την μετακίνηση της πετρελαιοκηλίδας περιλαμβάνοντας υδροδυναμικές παραμέτρους και δίνει αποτελέσματα σε χάρτες. Η προσβασιμότητα του μοντέλου εξασφαλίζεται με την εκτέλεσή του να βασίζεται εξ ολοκλήρου στο διαδίκτυο. Με λίγες κινήσεις, μπορεί να προσομοιώσει ένα σενάριο πετρελαιοκηλίδας και να δώσει αποτελέσματα σε λιγότερο από μισή ώρα. Συγκεκριμένα, οι πληροφορίες που προκύπτουν έχουν να κάνουν με την τροχιά της πετρελαιοκηλίδας, την συγκέντρωση του πετρελαίου σε ευαίσθητες περιοχές και το ποσοστό του πετρελαίου που εξατμίζεται, γαλακτωματοποιείται και διασκορπίζεται.

7.1.2 Απλά μοντέλα

Gnome (General NOAA Oil Modeling Environment)

Το Gnome (πηγή: <http://response.restoration.noaa.gov/>) είναι ένα μοντέλο πετρελαιοκηλίδας που προσομοιώνει την κίνηση της πετρελαιοκηλίδας λόγω ανέμων, ρευμάτων, παλίρροιας και διάδοσης. Αναπτύχθηκε από το Hazardous Materials Response Division (HAZMAT) από την Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας-Γραφείο Επέμβασης και Αποκατάστασης των ΗΠΑ (National Oceanic and Atmospheric Administration Office of Response and Restoration, NOAA

OR&R). Το Gnome χρησιμοποιείται σε ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας για να υπολογίσει την τροχιά της και την αβεβαιότητα της εν λόγω τροχιάς. Συγκεκριμένα, με το Gnome μπορεί κανείς να προβλέψει πώς ο άνεμος, τα ρεύματα και άλλα στοιχεία μπορεί να μετακινήσουν και να εξαπλώσουν την πετρελαιοκηλίδα στο νερό, να παρατηρήσει πώς οι προβλεπόμενες τροχιές επηρεάζονται από την αβεβαιότητα των παρατηρήσεων και προβλέψεων των ρευμάτων και ανέμων και να μάθει πώς η σύσταση της πετρελαιοκηλίδας θα αλλάξει χημικά και φυσικά με την πάροδο του χρόνου καθώς παραμένει στην επιφάνεια του νερού. Μετά από κάθε προσομοιωμένο σενάριο το πρόγραμμα δημιουργεί και εμφανίζει σε στάδια την κίνηση της προβλεπόμενης τροχιάς της πετρελαιοκηλίδας.

Simpar

Το Simpar (πηγή: <http://edepot.wur.nl/174587>) αναπτύχθηκε από το ινστιτούτο RIKZ (National Institute for Coastal and Marine Management) και το Delft University of Technology της Ολλανδίας. Είναι ένα δισδιάστατο μοντέλο το οποίο δίνει μεγάλη έμφαση στην μαθηματική ακρίβεια και προσφέρει δύο μορφές διάχυσης: η μία με ένα σταθερό συντελεστή διάχυσης και μία χρονοεξαρτώμενη διάχυση. Έχει αναπτυχθεί ειδικά για την ολλανδική παράκτια ζώνη, όπου η ξηρασία και οι πλημμύρες, είναι μεταξύ άλλων, σημαντικά χαρακτηριστικά.

Προσομοιώνει τη μεταφορά των αιωρούμενων σωματιδίων ή σωματιδίων που συμπεριφέρονται σαν διαλυμένες ουσίες. Υπολογίζει την κίνηση των σωματιδίων αυτών λόγω ανέμου, οριζόντιας μεταφοράς και διάχυσης βάση τυχαιότητας. Η διάχυση δηλαδή αντιπροσωπεύεται από ένα στοχαστικό μοντέλο στο οποίο τα σωματίδια καθιστούν τυχαία άλματα στην κατεύθυνση είτε παράλληλα είτε κάθετα προς τη ροή του νερού, όπως επίσης και το μέγεθος του άλματος καθορίζεται τυχαία.

Simap

Το Simap (πηγή: <http://www.asascience.com/software/simap/>) είναι ένα τρισδιάστατο μοντέλο που αναπτύχθηκε από την ASA (Applied Science Associates) και εκτιμά την φυσική τύχη και τις βιολογικές επιπτώσεις μια πετρελαιοκηλίδας. Τα δεδομένα για την περιοχή ενδιαφέροντος είτε έχουν υπολογιστεί σε κάποιο υδροδυναμικό μοντέλο, είτε είναι εμπειρικά, προέρχονται δηλαδή από άμεσες παρατηρήσεις. Ο χρήστης παρέχει στο μοντέλο στοιχεία μετεωρολογικά και υδροδυναμικά και σε συνδυασμό με ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS), το οποίο περιέχει περιβαλλοντικά και βιολογικά δεδομένα, αλλά και βάσεις δεδομένων φυσικοχημικών ιδιοτήτων, αποτελούν τα απαραίτητα στοιχεία εισόδου ώστε να προκύψουν αποτελέσματα από το μοντέλο.

7.2 Περιγραφή των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία

Θα προηγηθεί η περιγραφή του υδροδυναμικού μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε, καθώς τα αποτελέσματά του αποτελούν δεδομένα εισαγωγής για το μοντέλο πετρελαιοκηλίδας. Να σημειωθεί ότι στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν μονάχα τα αποτελέσματα αυτού του μοντέλου, αλλά για λόγους καλύτερης κατανόησης αυτών, ακολουθεί μια λεπτομερής αναφορά της λειτουργίας του και των διαδικασιών του, όπως αναπτύχθηκαν από τον Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Stamou et al., 2013)

7.2.1. Υδροδυναμικό μοντέλο

Τα υδροδυναμικά δεδομένα που χρειάζονται για ένα μοντέλο πετρελαιοκηλίδας μπορούν να αποκτηθούν μέσω ενός υδροδυναμικού μοντέλου, το οποίο παράγει το πεδίο ροής και δίνει πληροφορίες για τη συμπεριφορά της πετρελαιοκηλίδας καθορίζοντας τη σχετική μεταφορά. Η συλλογή δεδομένων για το πεδίο ροής είναι καθοριστική καθώς η μεταφορά και η διάχυση επηρεάζουν τις βιολογικές και φυσικοχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα.

Το υδροδυναμικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε είναι το FLOW-3DL (Stamou et al, 1999; 2007a; 2007b) και περιλαμβάνει τις εξισώσεις της τρισδιάστατης μη μόνιμης κατάστασης των ρηχών νερών, της συνέχειας και της ορμής εκφρασμένες σε τυποποιημένα στρώματα, όπου είναι κάθετα ολοκληρωμένες. Οι παραδοχές που έχουν γίνει είναι οι ακόλουθες: η κατανομή της πίεσης (p) είναι υδροστατική, ισχύει η προσέγγιση Boussinesq και η πίεση στην επιφάνεια τίθεται ίση με την ατμοσφαιρική (μηδέν). Οι εξισώσεις συνέχειας και ορμής του μοντέλου έχουν ως εξής:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (7.1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} = fV - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_h \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_h \frac{\partial U}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_v \frac{\partial U}{\partial z} \right) \quad (7.2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + W \frac{\partial V}{\partial z} = -fU - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_h \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_h \frac{\partial V}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_v \frac{\partial V}{\partial z} \right) \quad (7.3)$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g \quad \text{ή} \quad P(z) = -\rho g(\zeta - z) \quad (7.4)$$

Οι μεταβλητές των εξισώσεων είναι οι ανά στρώμα μέσες συνιστώσες της ταχύτητας U , V και W (άξονες X , Y και Z αντιστοίχως ενός καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων), η ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας ζ και η πίεση P . Τα θετικά του άξονα Z λαμβάνονται από την επιφάνεια της θάλασσας και πάνω, f είναι η παράμετρος Coriolis, g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και ρ η πυκνότητα του

νερού. Σύμφωνα με τους όρους διάχυσης της δευτέρας τάξης εξισώσεων ορμής, v_h και v_v είναι οι οριζόντιες και κάθετες συντελεστές του ιξώδους αντίστοιχα. Σε αυτή την περίπτωση οι τιμές τους υποτέθηκαν σταθερές, ίσες με 100 και $0,1 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, αντίστοιχα. Οι εξισώσεις (7.1) έως (7.4) επιλύονται ρητά σε ένα κλιμακωτό ορθογωνικό πλέγμα (U , V και W προσδιορίζονται στην επιφάνεια των όγκων ελέγχου, ενώ η ζ προσδιορίζεται στα κέντρα τους) χρησιμοποιώντας για ανάντη διαφορές την διακριτοποίηση των όρων μεταφοράς και κεντρικές διαφορές για τους όρους διάχυσης. Οι οριακές συνθήκες για το U , V , W και ζ περιλαμβάνουν: (α) τα χερσαία σύνορα, όπου εφαρμόζεται η συνθήκη μη-ολίσθησης για οριζόντια ταχύτητα και (β) τα όρια της ανοικτής θάλασσας, όπου η συνθήκη ακτινοβολίας χρησιμοποιείται για τις ταχύτητες (Κρεστενίτης, 1987). Η διαδικασία υπολογισμού είναι η ακόλουθη: πρώτον, η κατανομή πίεσης προσδιορίζεται από την εξίσωση (7.4). Ακολούθως, οι ταχύτητες U και V υπολογίζονται από τις εξισώσεις (7.2) και (7.3), αντιστοίχως. Τέλος, η W καθορίζεται από την επίλυση της εξίσωσης συνέχειας (7.1), ενώ η ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας προκύπτει από την εξίσωση (7.5), που είναι η γραμμική κινηματική οριακή συνθήκη στο στρώμα της επιφάνειας. Ο δείκτης « ζ », δηλώνει τιμές στο επιφανειακό στρώμα:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial \zeta}{\partial x} U_{\zeta} + \frac{\partial \zeta}{\partial y} V_{\zeta} = W_{\zeta} \quad (7.5)$$

Στην παρούσα εργασία το μοντέλο εφαρμόζεται σε μία στρώση για να υπολογίσει τις σε βάθος μέσες τιμές των ταχυτήτων. Στην περίπτωση αυτή, οι επιφανειακές ταχύτητες της οριζόντιας επιφάνειας στις διευθύνσεις x και y (U_{surf} και V_{surf} αντίστοιχα) υπολογίζονται από τις εξισώσεις (7.6) και (7.7), σύμφωνα με το Koutitas (1985):

$$U_{\text{surf}} = 1.5 U + 0.03 U_{\text{wx}} \quad (7.6)$$

$$V_{\text{surf}} = 1.5 V + 0.03 U_{\text{wy}} \quad (7.7)$$

Όπου U_{wx} και U_{wy} είναι οι συνιστώσες της ταχύτητας του ανέμου (m s^{-1}) στις διευθύνσεις x και y αντίστοιχα.

7.2.2 Μοντέλο πετρελαιοκηλίδας

Πρόκειται επίσης για ένα μοντέλο που αναπτύχθηκε από τον Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Stamou et al., 2013) και στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματά του. Στην παρούσα έκδοση του μοντέλου πετρελαιοκηλίδας (Παπαδονικολάκη, 2013) λαμβάνονται υπόψη οι διαδικασίες της εξάπλωσης, εξάτμισης, διάλυσης και γαλακτωματοποίησης. Τα απαραίτητα δεδομένα που πρέπει να εισαχθούν στο μοντέλο είναι α) η ποσότητα

(μάζα και όγκος) και οι ιδιότητες του πετρελαίου που διέρρευσε β) οι συνιστώσες της ταχύτητας των επιφανειακών ρευμάτων γ) τα χαρακτηριστικά του ανέμου δ) τα χαρακτηριστικά του νερού της θάλασσας (πυκνότητα και θερμοκρασία) και ε) οι τοποθεσίες των θαλάσσιων ατυχημάτων που προσδιορίζονται από το μοντέλο ατυχημάτων. Η μέθοδος παρακολούθησης σωματιδίων εφαρμόστηκε στη μοντελοποίηση των διαδικασιών μεταφοράς-διασποράς, ενώ κλασικά εμπειρικά μοντέλα εφαρμόστηκαν για την προσομοίωση των διεργασιών διάβρωσης. Από τη στιγμή που το πετρέλαιο διαρρέυσει, λαμβάνει χώρα οριζόντια διάδοση πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, υπό την επίδραση της βαρύτητας, της ορμής, της επιφανειακής τάσης και των δυνάμεων ιξώδους. Σύμφωνα με τους Lehr et al (1984) η εξάπλωση, η οποία επηρεάζεται από τον άνεμο και μη συμμετρικά μοιάζει με έλλειψη, μπορεί να περιγραφεί από την εξίσωση (7.8):

$$A_s = \frac{\pi}{4} l_{\min} l_{\max} \text{ or } A_s = 2270 \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_{\text{oil}}} \right)^{2/3} V_o^{2/3} t^{1/2} + 40 \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_{\text{oil}}} \right)^{1/3} V_o^{1/3} U_w^{4/3} t \quad (7.8)$$

$$\text{Όπου } l_{\min} = 53.76 \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_{\text{oil}}} \right)^{1/3} V_o^{1/3} t^{1/4} \quad \text{and} \quad l_{\max} = l_{\min} + 0.95 U_w^{4/3} t^{3/4} \quad (7.9)$$

Όπου A_s είναι η περιοχή της κηλίδας, l_{\max} και l_{\min} τα μήκη του δευτερεύοντος και κύριου άξονα της πετρελαιοκηλίδας αντίστοιχα, $\Delta\rho = \rho_w - \rho_{\text{oil}}$ όπου ρ_w και ρ_{oil} είναι οι πυκνότητες του νερού και πετρελαίου, αντίστοιχα, (kg m^{-3}), V_o είναι ο όγκος του διαρρέοντος ελαίου (βαρέλια), U_w είναι η ταχύτητα του ανέμου (κόμβοι), t είναι ο χρόνος (λεπτά). Η εξάτμιση καθορίζει κυρίως την τύχη της πετρελαιοκηλίδας, δεδομένου ότι προκαλεί ταχεία μείωση στον όγκο του χυμένου πετρελαίου και επηρεάζει το ιξώδες και την πυκνότητα του υπολείμματος πετρελαίου αυξάνοντάς τα. Ο Mackay (1980) πρότεινε μια αναλυτική μέθοδο για να υπολογίσει το ρυθμό εξάτμισης του πετρελαίου, που εκφράζεται από την εξίσωση (7.10):

$$F_e = \left(\frac{T}{BT_G} \right) \ln \left(\theta \left(\frac{BT_G}{T} \right) \exp \left(A - \frac{BT_o}{T} \right) + 1 \right) \quad (7.10)$$

όπου F_e είναι το κλάσμα όγκου του ελαίου που εξατμίζεται, T η θερμοκρασία του περιβάλλοντος (K). T_o , T_G , A και B είναι σταθερές που προέρχονται από τα δεδομένα απόσταξης. T_o είναι το αρχικό σημείο βρασμού σε $F_e = 0$ (K), T_G είναι η κλίση της καμπύλης απόσταξης (K), T είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος (K) και θ είναι η έκθεση στην εξάτμιση, δηλαδή ο όγκος του ατμού στο χρόνο t συναρτήσει του αρχικού όγκου της πετρελαιοκηλίδας, και υπολογίζεται από την εξίσωση (7.11) :

$$\theta = \frac{K_2 A_s t}{V_o} \quad (7.11)$$

όπου V_o είναι ο αρχικός όγκος της πετρελαιοκηλίδας (m^3), K_2 είναι ο συντελεστής μεταφοράς μάζας για την εξάτμιση (m^{-1}), ο οποίος ορίζεται από την εξίσωση (7.12) (MacKay και Matsugu, 1973):

$$K_2 = 0.0107 U_w^{0.78} D_s^{-0.11} S_c^{-0.67} \quad (7.12)$$

όπου U_w είναι η ταχύτητα του ανέμου ($m s^{-1}$), D_s είναι η διάμετρος της πετρελαιοκηλίδας (m), S_c είναι ο αριθμός Schmidt ο οποίος αντιπροσωπεύει την τραχύτητα της επιφάνειας. Ο Mackay (1980) ανέπτυξε μια θεωρία πολλαπλών συστατικών για τον υπολογισμό του ρυθμού διάλυσης του ελαίου:

$$S_D = K_D A_s S \quad (7.13)$$

όπου S_D είναι ο συνολικός ρυθμός διαλύσεως της πετρελαιοκηλίδας ($gr s^{-1}$), K_D είναι ο συντελεστής μεταφοράς μάζας διαλύσεως και S είναι η διαλυτότητα ελαίου σε νερό η οποία δίνεται από την εξίσωση (7.14):

$$S = S_o e^{-\alpha t} \quad (7.14)$$

όπου S_o είναι η διαλυτότητα του φρέσκου αργού πετρελαίου ($gr s^{-1}$), α είναι μία σταθερά απόσβεσης ($ημέρες^{-1}$).

Η γαλακτωματοποίηση είναι η κύρια διεργασία διάβρωσης που συμβάλλει στην αύξηση του όγκου του πετρελαίου και επομένως στην παραμονή της κηλίδας. Τα σταγονίδια νερού διασκορπίζονται εντός της μάζας ελαίου σχηματίζοντας ένα μίγμα αυξημένου ιξώδους και πυκνότητας. Ο Mackay (1980) προτείνει την εξίσωση (7.15) για τον υπολογισμό του ρυθμού της γαλακτωματοποίησης του ποσοστού του νερού σε έλαιο, η οποία λαμβάνει υπόψη την επίδραση των συνθηκών του ανέμου, τη θερμοκρασία και τα χαρακτηριστικά του πετρελαίου στη διαδικασία:

$$F_w = K_b \left(1 - \exp \left(\frac{-K_a}{K_b} (U_w + 1)^2 t \right) \right) \quad (7.15)$$

όπου F_w είναι η κλασματική περιεκτικότητα σε νερό, K_a είναι μία σταθερά που ποικίλλει ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου, K_b είναι η σταθερά ιξώδους του μίγματος. Σύμφωνα με τους Guo και Wang (2009), ο όγκος και η πυκνότητα της πετρελαιοκηλίδας αυξάνονται με το χρόνο λόγω των αλληλεπιδρώντων διαδικασιών διάλυσης, εξάτμισης και γαλακτωματοποίησης και καθορίζονται από τις εξισώσεις (7.16) και (7.17), αντιστοίχως:

$$V_{oil} = \frac{V_o (1 - (F_e + F_d))}{1 - F_w} \quad (7.16)$$

$$\rho_{oil} = \rho_w F_w + (1 - F_w) (\rho_o + K_b F_e) \quad (7.17)$$

όπου V_o είναι ο αρχικός όγκος του διαρρέοντος ελαίου (m^3), ρ_{oil} είναι η πυκνότητα του απομένοντος ελαίου και ρ_o είναι η αρχική πυκνότητα του διαρρέοντος πετρελαίου ($kg m^{-3}$). Ο όγκος της πετρελαιοκηλίδας V_{oil} , η πυκνότητα του πετρελαίου ρ_{oil} και η νέα μάζα, $M_{oil} = V_{oil} * \rho_{oil}$, υπολογίζονται σε κάθε χρονικό βήμα χρησιμοποιώντας τις εμπειρικές εξισώσεις (7.16) και (7.17). Για την προσομοίωση της μετατόπισης και της τυρβώδους μεταφοράς της πετρελαιοκηλίδας, χρησιμοποιείται η μέθοδος εντοπισμού των σωματιδίων. Σε κάθε χρονικό βήμα, η νέα μάζα της πετρελαιοκηλίδας διαιρείται

σε ένα αριθμό των σωματιδίων, όπου εφαρμόζεται η διαδικασία τυχαίας μεταφοράς (random walk) για την προσομοίωση των τροχιών τους λόγω μετατόπισης και διασποράς. Η μετατόπιση του κάθε σωματιδίου στις διευθύνσεις X και Y υπολογίζεται σε κάθε χρονικό βήμα:

$$DS_x = U_{surf} Dt + DS \cos \theta \quad \text{και} \quad DS_y = V_{surf} Dt + DS \sin \theta \quad (7.18)$$

όπου DS είναι η απόσταση (m) που κάθε σωματίδιο διανύει εξαιτίας της οριζόντιας διασποράς σε κάθε χρονικό βήμα και δίνεται από την εξίσωση (7.19) (Chao et al, 2001.):

$$DS = [R]_0^1 \sqrt{12D_h Dt} \quad (7.19)$$

όπου D_h είναι ο συντελεστής οριζόντιας διασποράς ($m^2 s^{-1}$), $[R]$ είναι ένας τυχαίος αριθμός στο διάστημα $[0,1]$ ώστε να περιλαμβάνει τον στοχαστικό παράγοντα και θ είναι μία γωνία (rad) που υποδηλώνει την τυχαιότητα στην κατεύθυνση του κάθε σωματιδίου, σε κάθε χρονικό βήμα, λόγω διασποράς, που υπολογίζεται από την εξίσωση (7.20):

$$\theta = 2\pi[R]_0^1 \quad (7.20)$$

Η νέα θέση (X, Y) του κάθε σωματιδίου υπολογίζεται ακολούθως, σε κάθε χρονικό βήμα:

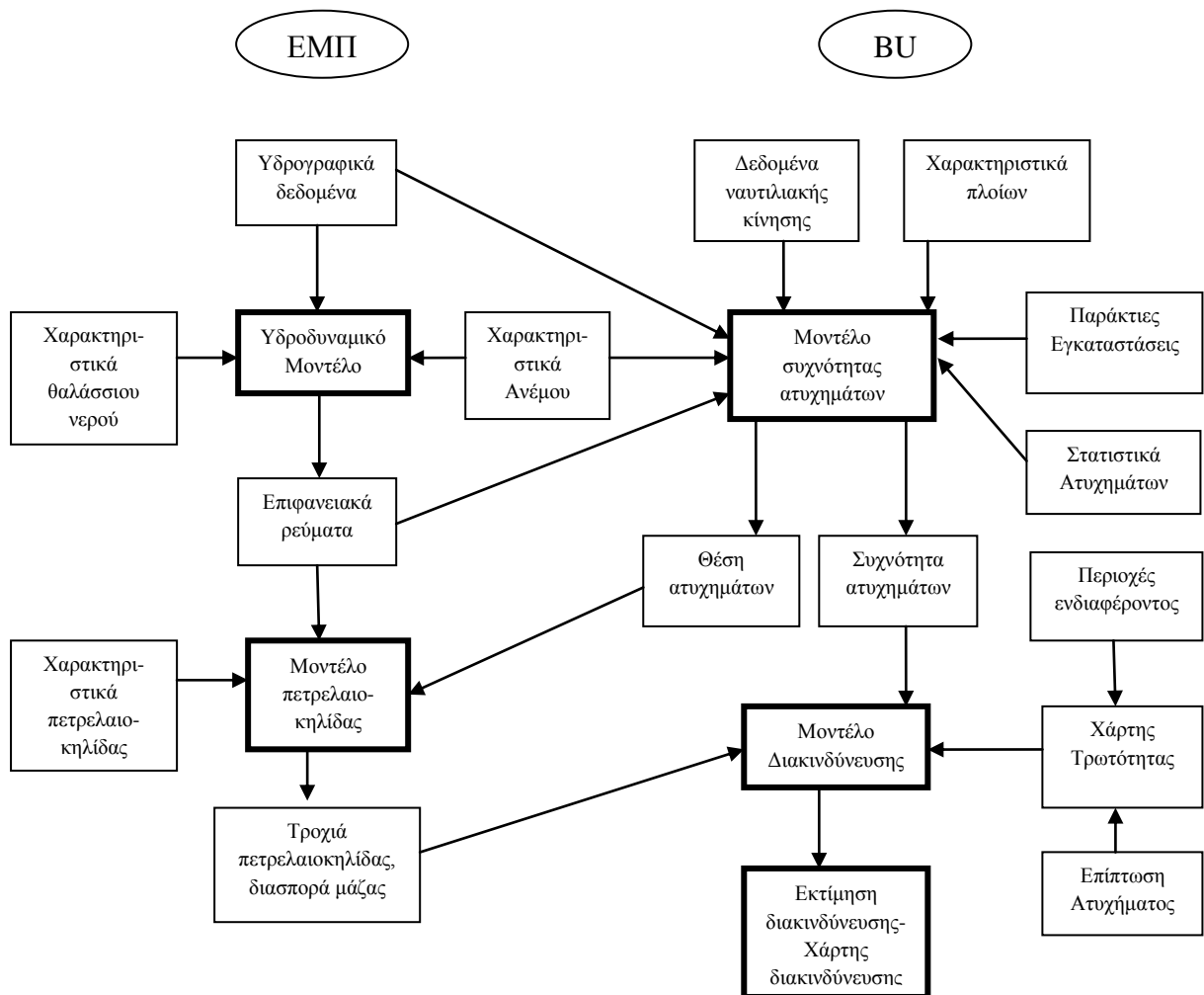
$$X = X^o + DS_x \quad \text{and} \quad Y = Y^o + DS_y \quad (7.21)$$

όπου X_o, Y_o είναι οι συντεταγμένες της θέσης ενός σωματιδίου στο τρέχων επίπεδο του χρόνου. Ο συνολικός αριθμός των σωματιδίων N και η μάζα του πετρελαίου M σε κάθε κελί του αριθμητικού πλέγματος μπορεί τότε να προκύπτει σε κάθε χρονικό βήμα.

8. Παρουσίαση και Εφαρμογή της 1^{ης} Μεθοδολογίας

8.1 Παρουσίαση της Μεθοδολογίας

Η πρώτη μεθοδολογία (Σχήμα 8.1) εκτίμησης της επικινδυνότητας ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας που εφαρμόστηκε στην περιοχή μελέτης αποτελείται από 1. ένα υδροδυναμικό μοντέλο 2. Ένα μοντέλο πετρελαιοκηλίδας 3. Ένα μοντέλο ανάλυσης ατυχημάτων που υπολογίζει την πιθανότητα να συμβεί ένα ατύχημα πετρελαιοκηλίδας σε μια συγκεκριμένη θαλάσσια περιοχή και 4. Ένα μοντέλο διακινδύνευσης που υπολογίζει τη χωρική διασπορά της διακινδύνευσης της πετρελαιοκηλίδας (Otay et al., 2013). Τα δύο πρώτα μοντέλα αναπτύχθηκαν από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (NTUA), ενώ τα δύο τελευταία από το Bogazici University (BU) της Κωνσταντινούπολης.



Σχήμα 8.1 Σχηματική παρουσίαση της 1ης μεθοδολογίας (πηγή: Stamou et al., 2013)

Πρόκειται για το υδροδυναμικό μοντέλο και το μοντέλο πετρελαιοκηλίδας που παρουσιάστηκαν στο 7.2.1. και στο 7.2.2. αντίστοιχα. Παρακάτω θα αναλυθούν τα άλλα δύο μοντέλα, τα οποία αναπτύχθηκαν από το Bogazici University της Κωνσταντινούπολης στα πλαίσια κοινής έρευνας με το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

8.1.1 Μοντέλο συχνότητας ατυχημάτων

Το μοντέλο ατυχημάτων που αναπτύχθηκε προβλέπει τη συχνότητα των θαλάσσιων ατυχημάτων λόγω ναυτιλιακών μεταφορών και τη γεωγραφική διασπορά της εκάστοτε τοποθεσίας τους. Η πρόβλεψη αυτή βασίζεται στις εξής παραμέτρους: δεδομένα AIS (Automated Identification System), δεδομένα θαλασσιών μεταφορών, χαρακτηριστικά πλοίων (μέγεθος, τύπος, φορτίο), παράκτιες εγκαταστάσεις, στατιστικά παλαιότερων ατυχημάτων, υδρογραφικά δεδομένα (γεωμετρία και βαθυμετρία της περιοχής μελέτης), χαρακτηριστικά του ανέμου (ταχύτητα και διεύθυνση) και τις συνιστώσες της ταχύτητας των επιφανειακών ρευμάτων (U_{surf} και V_{surf}).

8.1.2 Μοντέλο εκτίμησης επικινδυνότητας/διακινδύνευσης

Ο διεθνής οργανισμός ναυσιπλοΐας (International Maritime Organization, IMO, 1997) ορίζει το ναυτιλιακό κίνδυνο (εξίσωση 8.1) ως το αποτέλεσμα της πιθανότητας του ατυχήματος να συμβεί και της επίπτωσης αυτού. Δηλαδή,

Διακινδύνευση ατυχήματος = Πιθανότητα ατυχήματος x Επιπτώσεις ατυχήματος

ή

$$\text{Accident Risk} = (\text{Accident Probability}) \times (\text{Accident Impact}) \quad (8.1)$$

Η ανάλυση της επικινδυνότητας επιδίωξε να προσδιορίσει το σχετικό κίνδυνο ανάμεσα στις διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές, τον τύπο των περιστατικών και τις κατηγορίες των πλοίων. Δεν έλαβε υπόψη τους υπάρχοντες ελέγχους, αν κι αυτοί είχαν υπολογιστεί κατά τη διαδικασία αντιμετώπισης του κινδύνου. Η επίπτωση των ατυχημάτων προσδιορίζεται από την ανάλυση των παραμέτρων ευαισθησίας που περιλαμβάνουν: (i) Ειδικές Βιομηχανικές Περιοχές (θαλάσσιες περιοχές αλιείας, κλειστές περιοχές αλιείας, λιμένες ψαράδων και αλιευτικά καταφύγια, τουριστικές και ψυχαγωγικές εγκαταστάσεις, διυλιστήρια, εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, υποβρύχια καλώδια ρεύματος, εργοστάσια, ναυπηγεία, λιμάνια εμπορευματοκιβωτίων, φορτίων και επιβατών, μαρίνες και νεωλκεία), και (ii) Ειδικές Φυσικές Περιοχές (παράκτιοι φυσικοί κήποι, προστατευόμενες περιοχές, πολιτιστικές περιοχές, σημαντικές περιοχές ενδιαιτημάτων, θαλάσσια λιβάδια, περιοχές σημαντικών θαλάσσιων θηλαστικών και ορνιθοπανίδας).

8.1.2.1. Δίκτυο Bayesian

Η σχετική επικινδυνότητα των ατυχημάτων στο παρόν μοντέλο περιγράφεται μέσω ενός Bayesian network model, όπως παρουσιάστηκε από τους Uluscu et al (2009), το οποίο υπολόγισε τη σχετική επικινδυνότητα σ ένα γεωγραφικό τμήμα. Πρόκειται δηλαδή για ένα πιθανολογικό γραφικό μοντέλο (ένα είδος στατιστικού μοντέλου) που αντιπροσωπεύει ένα σύνολο τυχαίων μεταβλητών και τις εξαρτήσεις τους μέσω ενός κατευθυνόμενου άκυκλου γραφήματος (DAG-directed acyclic graph). Συγκεκριμένα, κάθε κόμβος στο γράφημα αναπαριστά μια τυχαία μεταβλητή και κάθε βέλος ανάμεσα στους κόμβους τις πιθανολογικές εξαρτήσεις ανάμεσα στις αντίστοιχες τυχαίες μεταβλητές. Αυτές οι εξαρτήσεις στο γράφημα συχνά εκτιμώνται χρησιμοποιώντας γνωστές υπολογιστικές και στατιστικές μεθόδους. Έτσι, ένα Μπεϋζιανό δίκτυο συνδυάζει αρχές από τη θεωρία γραφημάτων, τη θεωρία πιθανοτήτων, την επιστήμη των υπολογιστών και της στατιστικής.

Αξίζει να αναφερθεί σε αυτό το σημείο το θεώρημα Bayes:

Αν B_1, B_2, \dots είναι ακολουθία ασυμβίβαστων ενδεχομένων με $U_i B_i = \Omega$ και $P(B_i) > 0$ ($i=1,2,\dots$) τότε για κάθε ενδεχόμενο A με $P(A) > 0$ έχουμε

$$P(B_k|A) = \frac{P(A|B_k)P(B_k)}{\sum_i P(A|B_i)P(B_i)} \text{ όπου } k=1,2$$

Με το θεώρημα Bayes μπορούμε γνωρίζοντας την πιθανότητα A του δεδομένου B , να υπολογίσουμε την πιθανότητα B δεδομένου A . Χρησιμοποιεί τον ορισμό της δεσμευμένης πιθανότητας και τον νόμο ολικής πιθανότητας (Φουσκάκης, ΕΜΠ).

Η χρήση του δικτύου Bayes έχει διάφορα πλεονεκτήματα στην ανάλυση δεδομένων:

- Αναπαριστά τις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών του συστήματος με συνδετικά τόξα (connecting arcs), ενώ είναι εύκολο να αναγνωριστεί η εξάρτηση ή η ανεξαρτησία μεταξύ των διαφόρων κόμβων.
- Καθώς το μοντέλο κωδικοποιεί εξαρτήσεις μεταξύ όλων των μεταβλητών, χειρίζεται εύκολα καταστάσεις όπου οι καταχωρήσεις κάποιων δεδομένων δεν είναι πλήρεις.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη γνώση αιτιωδών σχέσεων και ως εκ τούτου μπορεί κανείς να κατανοήσει ένα πρόβλημα και να προβλέψει τις συνέπειες μιας παρέμβασης.
- Καθώς το μοντέλο περιλαμβάνει τόσο την αιτιώδη όσο και την πιθανοτική σημασιολογία, αποτελεί ιδανική αναπαράσταση για το συνδυασμό προγενέστερης γνώσης και νέων δεδομένων.
- Ένα δίκτυο Bayesian σε συνδυασμό με στατιστικές μεθόδους προσφέρει μια αποδοτική προσέγγιση για την αποφυγή της υπερπροσαρμογής των δεδομένων.
- Μπορεί να χαρτογραφήσει σενάρια όπου δεν είναι εφικτό/πρακτικό να μετρηθούν όλες οι μεταβλητές λόγω περιορισμών του συστήματος (κόστος, ανεπαρκή μέσα).

Παρουσιάζει όμως και τους εξής περιορισμούς:

- Πρέπει να υπολογίζονται όλοι οι κλάδοι προκειμένου να υπολογιστεί η πιθανότητα ενός κλάδου.
- Η ποιότητα των αποτελεσμάτων εξαρτάται από προηγούμενες πεποιθήσεις ή μοντέλα. Μια μεταβλητή αποτελεί μόνο ένα μικρό μέρος του δικτύου, ενώ ολόκληρο το σύστημα εξαρτάται από αυτή.
- Οι υπολογισμοί του δικτύου ενδέχεται να είναι δύσκολοι και δαπανηροί (NP-hard = nondeterministic polynomial-time hard)
- Οι υπολογισμοί και οι πιθανότητες χρησιμοποιώντας τους κανόνες ενός δικτύου Bayesian μπορεί να καταστούν πολύπλοκοι και συχνά χαρακτηρίζονται από συνοπτική και ακριβή διατύπωση, επομένως πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε να υπολογιστούν σωστά.

8.2 Εφαρμογή της Μεθοδολογίας στο Σαρωνικό κόλπο

8.2.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη συχνότητα των ατυχημάτων

Οι πιθανότητες των συνθηκών των παραγόντων που επηρεάζουν τη συχνότητα των ατυχημάτων υπολογίστηκαν σύμφωνα με συνεντεύξεις και ερωτηματολόγια ειδικών επιστημόνων και βαθμονομήθηκαν με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα ατυχημάτων του παρελθόντος. Αυτή η προσέγγιση επεξεργάζεται τον στατιστικό χαρακτήρα της κυκλοφορίας των πλοίων και των αιτιών των ατυχημάτων. Ωστόσο, στη μελέτη των Ulusu et al η εμφάνιση του ατυχήματος και οι προκύπτουσες φυσικές διαδικασίες που αφορούν τη διάδοση και την τύχη της πετρελαιοκηλίδας δεν εξετάστηκαν σε βάθος. Στην παρούσα εργασία όμως, (Otay et al) η προσέγγιση αυτή επεκτάθηκε με την μοντελοποίηση των διαδικασιών της πετρελαιοκηλίδας μετά το ατύχημα μέσω του μοντέλου πετρελαιοκηλίδας (Stamou et al), το οποίο έδωσε αποτελέσματα για ένα μεγάλο σύνολο ρεαλιστικών σεναρίων.

Ως πρώτο βήμα, τα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης αναλύθηκαν ώστε να προσδιοριστεί η κατανομή πιθανότητας του ανέμου, ο οποίος είναι η κύρια κινητήρια δύναμη στα θαλάσσια ρεύματα. Η πιθανότητα υπολογίστηκε με βάση τόσο την κατεύθυνση όσο και την ταχύτητα του ανέμου με αποτέλεσμα να παραχθεί ένα μητρώο οχτώ γεωγραφικών τμημάτων (B, BA, A, NA, N, NΔ, Δ, ΒΔ) και έξι κατηγοριών ανέμου σε Beaufort (bf) (1 έως 6+). Συμπεριλαμβανομένης της κατάστασης νηνεμίας, ένα σύνολο από 49 σενάρια αναλύθηκε με τις αντίστοιχες πιθανότητες και χρησιμοποιήθηκε ως δεδομένο εισόδου στο υδροδυναμικό μοντέλο.

Η προκύπτουσα χωρική κατανομή των επιφανειακών ρευμάτων από τα 49 σενάρια σε συνδυασμό με τους υδρογραφικούς παράγοντες και τους παράγοντες πλοήγησης (Πίνακας 8.1) χρησιμοποιήθηκαν για το μοντέλο συχνότητας ατυχημάτων, καθώς

θεωρήθηκε ότι αποτελούν τους παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο τις συχνότητες των ατυχημάτων.

Πίνακας 8.1 Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συχνότητα των ατυχημάτων, συσχετισμένοι με τα υδρογραφικά στοιχεία και τα χαρακτηριστικά πλοήγησης της περιοχής (πηγή: Otay et al., 2013)

Χαρακτηριστικό κελιού		Δείκτης Σχετικότητας							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Μέγεθος του ρεύματος	Πιθανότητα ($V_{max} > V_{cr}$)	0.00–0.06	0.06–0.19	0.19–0.31	0.31–0.44	0.44–0.50	0.50–0.69	0.69–0.81	0.81–1.00
Αναλογία αβαθών υδάτων (βάθος < 5m)	Πιθανότητα ($A_{5m} < A_{tot}$)	0	0.00–0.15	0.15–0.30	0.30–0.45	0.45–0.60	0.60–0.75	0.75–0.90	0.90–1.00
Απόσταση από την ακτή	Km	>20	15-20	10-15	5-10	0-5			
Δείκτης περιορισμού ελιγμών	Αριθμός παρακείμενων κελιών ξηράς	1	2	3	4	5	6	7	8
Πυκνότητα κυκλοφορίας πλοίων	Αριθμός πλοίων	0	1-2	3-5	6-10	11-20	21-30	31-40	>40

Εφαρμόζοντας τους παράγοντες του Πίνακα 8.1 σε κάθε φατνίο του υπολογιστικού τομέα, προσδιορίζεται η σχετική συχνότητα των ατυχημάτων και η χωρική κατανομή της και στη συνέχεια χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των πλέον πιθανών θέσεων ατυχήματος της περιοχής μελέτης. Κάθε πιθανή τοποθεσία ατυχήματος χρησιμοποιείται σαν αρχική θέση διαρροής πετρελαίου στα σενάρια του μοντέλου πετρελαιοκηλίδας, συμπεριλαμβανομένων των παραμέτρων της κηλίδας που είναι πιο πιθανές να συμβούν στην εκάστοτε τοποθεσία, δηλαδή της ποσότητας και των ιδιοτήτων του διαρρέοντος πετρελαίου.

Στην παρούσα μελέτη, η συσσωρευμένη μάζα πετρελαίου στα παράκτια φατνία υπολογίστηκε ξεχωριστά από το μοντέλο πετρελαιοκηλίδας για κάθε σενάριο. Οι υπολογισμοί σταματούσαν όταν το 10% της αρχικής ποσότητας διαρρέοντος πετρελαίου έφτανε στην ακτή. Όλα τα σενάρια σταθμίστηκαν με τη σχετική πιθανότητα να προσδιοριστεί το αναμενόμενο επίπεδο έκθεσης του κάθε παράκτιου φατνίου σε πετρελαιοκηλίδα, το οποίο δίνεται, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 8.5, σε κλίμακα από το 1 έως το 6.

8.2.2. Συντελεστές παράκτιας ευαισθησίας

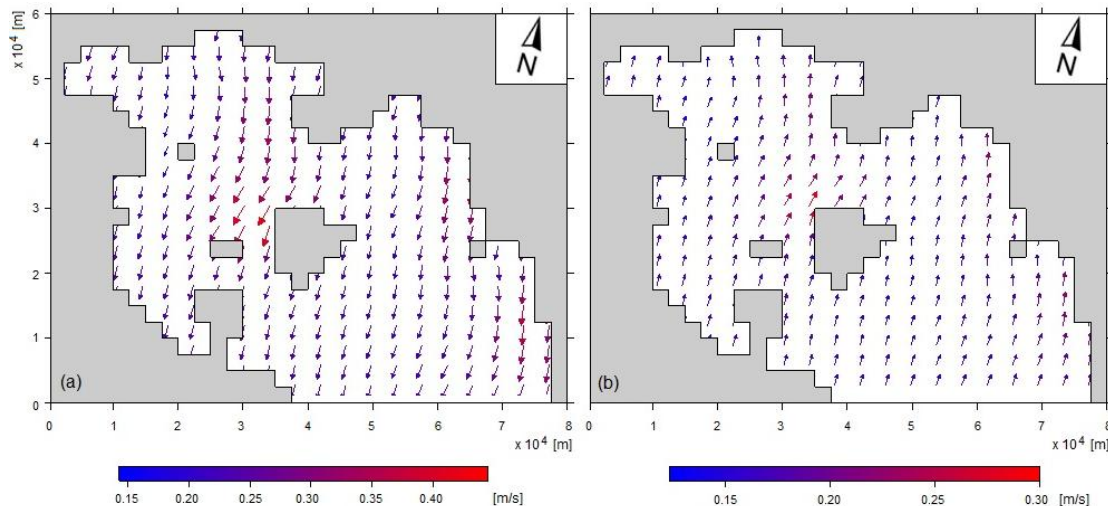
Η ευαισθησία της ακτής απέναντι στην μόλυνση του πετρελαίου εκφράζεται με την ύπαρξη ειδικών οικονομικών και οικολογικών περιοχών. Οι λεγόμενοι συντελεστές ευαισθησίας (Πίνακας 8.2) δίνονται ως συντελεστές βαρύτητας μετά από ειδικές μελέτες για κάθε κατηγορία ειδικής περιοχής (MRC, 2010). Στη συνέχεια πολλαπλασιάζονται με τους παράγοντες της επίπτωσης του πετρελαίου και συμβάλλουν στον τελικό υπολογισμό του δείκτη επικινδυνότητας (IMO 1997).

Πίνακας 8.2 Συντελεστές ευαισθησίας

Περιοχές ιδιαίτερου οικονομικού ενδιαφέροντος	Ιχθυοτροφεία	7,56
	Παραλίες με γαλάζια σημαία	7,67
	Βιομηχανικές εγκαταστάσεις	3,89
	Ναυπηγεία	2,89
	Επιβατικά και εμπορικά λιμάνια	3,44
	Μαρίνες	4,00
Περιοχές ιδιαίτερου περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος	Προστατευόμενες παράκτιες φυσικές περιοχές	8,00
	Παράκτια ειδικά προστατευόμενα οικοσυστήματα	8,44
	Παράκτιες περιοχές φυσικού και πολιτιστικού ενδιαφέροντος	7,67

8.2.3. Υδροδυναμικοί υπολογισμοί

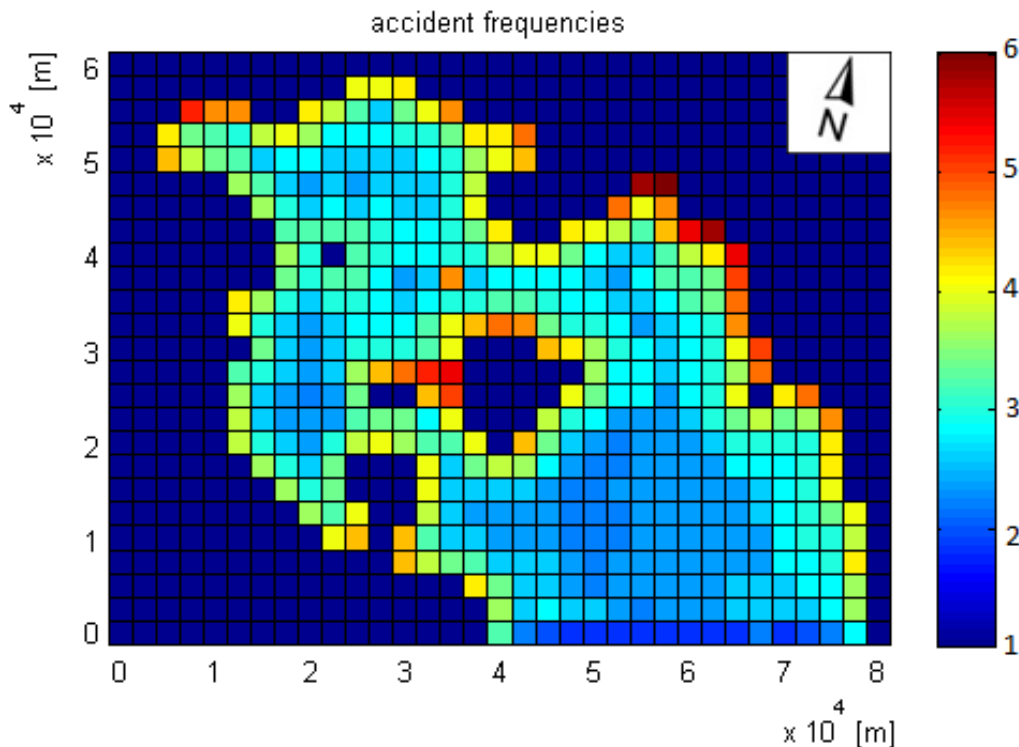
Για τους υδροδυναμικούς υπολογισμούς (Stamou et al,2013) χρησιμοποιήθηκαν 49 σενάρια ανέμου-αυτό της νηνεμίας και 48 σενάρια διαφορετικής ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου (1-6 Beaufort για τις 8 κύριες διευθύνσεις). Ενδεικτικά παρουσιάζονται στο Σχήμα 8.2 τα αποτελέσματα για τις δύο πιο συνηθισμένες συνθήκες ανέμου στο Σαρωνικό κόλπο- βόρειος άνεμος και νότιος άνεμος ταχύτητας μεγέθους 4bf και 3bf αντίστοιχα.



Σχήμα 8.2 Επιφανειακά ρεύματα Σαρωνικού Κόλπου για (a) Β άνεμο-4bf και (b) Ν άνεμο-3bf (πηγή: Otay et al., 2013, Παπαδοニコλάκη Γ., 2013)

8.2.4 Ανάλυση συχνότητας ατυχημάτων

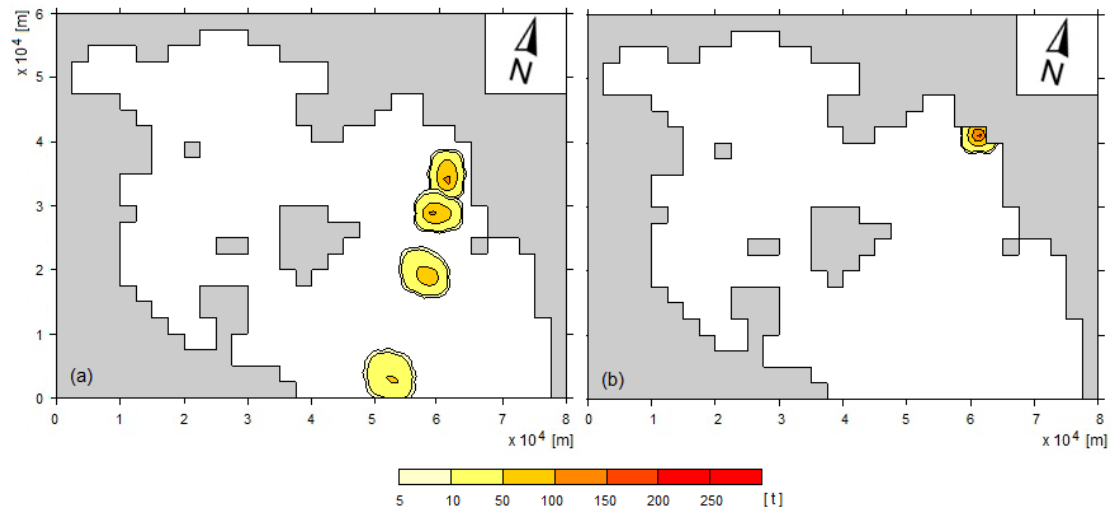
Το παρακάτω σχήμα (Σχήμα 8.3) παρουσιάζει τη σχετική συχνότητα ατυχημάτων που μπορούν να συμβούν στο Σαρωνικό Κόλπο, βασισμένο στους παράγοντες του Πίνακα 8.1 και τη σχετική τους πιθανότητα να συμβούν. Όπως ήταν αναμενόμενο, η συχνότητα των ατυχημάτων βρέθηκε υψηλότερη κοντά στις παράκτιες περιοχές, όπου το βάθος του νερού είναι μικρότερο και η κίνηση των πλοίων μεγαλύτερη. Σύμφωνα με το Σχήμα 8.3, τέσσερις είναι οι περιοχές που ξεχωρίζουν ως οι πιο πιθανές θέσεις για την εμφάνιση ατυχήματος και αυτές οι ίδιες είναι που χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου στο μοντέλο πετρελαιοκηλίδας.



Σχήμα 8.3 Σχετική Συχνότητα Ατυχημάτων σε κλίμακα από 1 έως 6 (πηγή: Otay et al., 2013)

8.2.5. Υπολογισμοί μοντέλου πετρελαιοκηλίδας

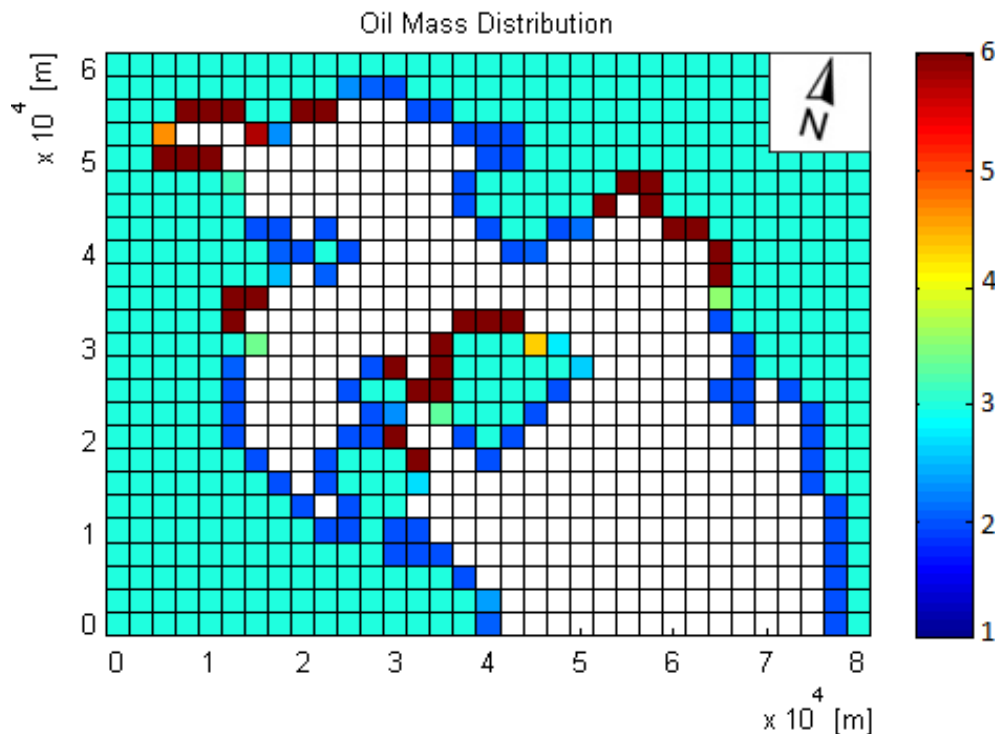
Λαμβάνοντας υπόψη τα 49 σενάρια ανέμου και τις 4 πιο πιθανές θέσεις ατυχήματος που αναγνωρίστηκαν πιο πάνω, το μοντέλο πετρελαιοκηλίδας εφαρμόστηκε από τον Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και έδωσε αποτελέσματα για $49 \times 4 = 196$ υποθέσεις. Σε κάθε υπόθεση η αρχική ποσότητα πετρελαίου ορίστηκε σε 1500 βαρέλια, που ισοδυναμούν με 197 τόνους. Ενδεικτικά, το παρακάτω σχήμα (Σχήμα 8.4) δείχνει την πορεία και διασπορά της πετρελαϊκής μάζας σε 4 χρονικές στιγμές μετά την διάχυση της στο λιμάνι του Πειραιά για τα δύο πιο συχνά σενάρια ανέμου του Σχήματος 8.2.



Σχήμα 8.4 Τροχιές πετρελαιοκηλίδων για (a) Β άνεμο-4bf και (b) Ν άνεμο-3bf (πηγή: Otay et al., 2013, Παπαδονικολάκη Γ., 2013)

8.2.6. Ανάλυση επίπτωσης και εκτίμηση της επικινδυνότητας

Το Σχήμα 8.5 παρουσιάζει το πιθανό επίπεδο έκθεσης των ακτών του Σαρωνικού Κόλπου σε κίνδυνο μόλυνσης από πετρέλαιο, εκφρασμένο με βάση την επίπτωση από τα ατυχήματα πετρελαιοκηλίδων που μπορεί να συμβούν. Αυτός ο χάρτης επικινδυνότητας λαμβάνει υπόψη τις επιπτώσεις των διάφορων συνιστωσών του μοντέλου, δηλαδή την πιθανολογική κατανομή του ανέμου και τα προκύπτοντα τρέχοντα συνήθη σενάρια του, την ανάλυση της συχνότητας των ατυχημάτων, την πρόβλεψη για την τύχη και τη συμπεριφορά της πετρελαιοκηλίδας και την ευαισθησία των παράκτιων περιοχών. Επομένως από τη συνεργασία του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και του Πανεπιστημίου Βοغازici της Κωνσταντινούπολης, προέκυψε πως οι περιοχές που βρίσκονται περισσότερο σε κίνδυνο είναι οι παράκτιες περιοχές κοντά στο λιμάνι του Πειραιά, οι βορειοδυτικές ακτές της Αίγινας και το βορειοδυτικό σημείο του Κόλπου κοντά στα Ίσθμια.



Σχήμα 8.5 Επίπτωση ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας στο Σαρωνικό Κόλπο (πηγή: Otay et al., 2013)

Παρά το γεγονός ότι η άμεση επαλήθευση των αποτελεσμάτων δεν ήταν δυνατή λόγω έλλειψης μακροπρόθεσμων στατιστικών και χωρικής ανάλυσης των αρχείων των ατυχημάτων, οι περιοχές υψηλού κινδύνου που εντοπίστηκαν υποδεικνύουν ότι πολυσύχναστα λιμάνια ή σημεία με πυκνή κυκλοφορία πλοίων εκτίθενται σε υψηλότερο κίνδυνο. Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη κατάλληλων σχεδίων έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση που λάβει χώρα ένα ατύχημα πετρελαιοκηλίδας.

Η μεθοδολογία που παρουσιάστηκε και εφαρμόστηκε στο Σαρωνικό κόλπο τονίζει την ανάγκη για την ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης για τον προσδιορισμό των παράκτιων περιοχών που είναι πιο επιρρεπείς σε διαρροές πετρελαίου. Μια τέτοια προσέγγιση θα πρέπει να περιλαμβάνει την ανάπτυξη του υδροδυναμικού μοντέλου και του μοντέλου της τύχης-γήρανσης και μεταφοράς της πετρελαιοκηλίδας με τη συμβολή διαφόρων ειδικών, όπως ναυπηγούς και θαλάσσιους ειδικούς, οικολόγους, θαλάσσιους βιολόγους, οικονομολόγους οι οποίοι θα υπολογίσουν τις συχνότητες των ατυχημάτων και των επιπτώσεών τους στο παράκτιο και θαλάσσιο περιβάλλον. Με δεδομένη τη δυσκολία πρόβλεψης των μελλοντικών θέσεων ατυχήματος διαρροής πετρελαίου και το υψηλό επίπεδο αβεβαιότητας στον ορισμό των επικρατουσών καιρικών συνθηκών, είναι επιτακτική η ανάγκη το όλο πρόβλημα να διατυπωθεί σε ένα στοχαστικό πλαίσιο.

9. Παρουσίαση και εφαρμογή της 2^{ης} Μεθοδολογίας

9.1 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)

Η 2^η μεθοδολογία βασίζεται στη χρήση του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ), ευρέως γνωστό και ως GIS (Geographic Information Systems). Το ΣΓΠ είναι ένα σύστημα διαχείρισης χωρικών δεδομένων (spatial data) και συσχετισμένων ιδιοτήτων. Στην πιο αυστηρή μορφή του είναι ένα ψηφιακό σύστημα, ικανό να ενσωματώσει, αποθηκεύσει, προσαρμόσει, αναλύσει, επεξεργαστεί και παρουσιάσει γεωγραφικά συσχετισμένες (geographically-referenced) πληροφορίες. Σε πιο γενική μορφή, ένα ΣΓΠ είναι ένα εργαλείο "έξυπνου χάρτη", το οποίο επιτρέπει στους χρήστες του να αποτυπώσουν μια περίληψη του πραγματικού κόσμου, να δημιουργήσουν διαδραστικά ερωτήσεις χωρικού ή περιγραφικού χαρακτήρα (αναζητήσεις δημιουργούμενες από τον χρήστη), να αναλύσουν τα χωρικά δεδομένα (spatial data), να τα προσαρμόσουν και να τα αποδώσουν σε αναλογικά μέσα (εκτυπώσεις χαρτών και διαγραμμάτων) ή σε ψηφιακά μέσα (αρχεία χωρικών δεδομένων, διαδραστικοί χάρτες).

Τα συστήματα GIS, όπως και τα συστήματα CAD, αποτυπώνουν χωρικά δεδομένα σε γεωγραφικό, χαρτογραφικό ή καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Βασικό χαρακτηριστικό των ΣΓΠ είναι ότι τα χωρικά δεδομένα συνδέονται και με περιγραφικά δεδομένα, π.χ. μια ομάδα σημείων που αναπαριστούν θέσεις πόλεων συνδέεται με ένα πίνακα όπου κάθε εγγραφή εκτός από τη θέση περιέχει πληροφορίες όπως ονομασία, πληθυσμός κλπ.

Η χαρακτηριστική δυνατότητα που παρέχουν τα GIS λοιπόν είναι αυτή της σύνδεσης της χωρικής με την περιγραφική πληροφορία (η οποία δεν έχει από μόνη της χωρική υπόσταση). Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την λειτουργία αυτή βασίζεται:

- Είτε στο σχεσιακό (relational) μοντέλο δεδομένων, όπου τα περιγραφικά δεδομένα πινακοποιούνται χωριστά και αργότερα συσχετίζονται με τα χωρικά δεδομένα μέσω κάποιων μοναδικών τιμών που είναι κοινές και στα δύο είδη δεδομένων.
- Είτε στο αντικειμενοστραφές (object-oriented) μοντέλο δεδομένων, όπου τόσο τα χωρικά όσο και τα περιγραφικά δεδομένα συγχωνεύονται σε αντικείμενα, τα οποία μπορεί να μοντελοποιούν κάποια αντικείμενα με φυσική υπόσταση (π.χ. κατηγορία = "δρόμος", όνομα = "Πανεπιστημίου", πλάτος = "20μέτρα").

Το αντικειμενοστραφές μοντέλο τείνει να χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο σε εφαρμογές GIS εξαιτίας των αυξημένων δυνατοτήτων του σε σχέση με το σχεσιακό μοντέλο της δυνατότητας που παρέχει για την εύκολη και απλοποιημένη μοντελοποίηση σύνθετων φυσικών φαινομένων και αντικειμένων με χωρική διάσταση.

Πολλές φορές η ολοκληρωμένη έννοια των GIS (integrated GIS concept) επεκτείνεται για να συμπεριλάβει τόσο τα δεδομένα (που αποτελούν ουσιαστικά τον πυρήνα τους), το λογισμικό και τον μηχανικό εξοπλισμό, όσο και τις διαδικασίες και το ανθρώπινο δυναμικό, που αποτελούν αναπόσπαστα τμήματα ενός οργανισμού, ο

οποίος έχει σαν πρωταρχική του δραστηριότητα την διαχείριση πληροφορίας με την βοήθεια GIS.

Υπάρχει μια ενδιαφέρουσα σχέση μεταξύ του GIS και της διαχείρισης του κινδύνου-συνεχώς αναπτύσσονται νέες και βελτιωμένες μεθόδους για τη διαχείριση καταστάσεων οφειλόμενων σε φυσικές καταστροφές, αλλά οι συνεχώς πιο πολύπλοκες κοινωνίες, οικονομίες και υποδομές αυξάνουν τις προκλήσεις σχετικά με τις καταστροφές. Οι άνθρωποι είναι συνδεδεμένοι με το περιβάλλον τους όσο ποτέ και το GIS είναι σε πολλές περιπτώσεις ο καταλληλότερος μηχανισμός για την ανάλυση και την διαχείριση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης.

Το GIS μπορεί να συμβάλει σε όλα τα στάδια μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης: τόσο στον σχεδιασμό και την προετοιμασία, όσο και στην αντιμετώπισή της και την επαναφορά του περιβάλλοντος (planning, mitigation, preparedness, response, recovery). Μέσω των χαρτών που παράγει ως αποτέλεσμα, συμβάλει τόσο στην πρόβλεψη όσο και στην λήψη αποφάσεων. Έχει και μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε περιπτώσεις πυρκαγιάς, σεισμού, πλημμύρας και γενικότερα τη μελέτη περιβαλλοντικών και φυσικών φαινομένων, στην μελέτη κοινωνικών φαινομένων, όπως τα αυτοκινητιστικά ατυχήματα ή η εγκληματικότητα, στην μεταβολή του πληθυσμού, ακόμα και τη δημόσια υγεία, μέσω για παράδειγμα της μελέτης μιας επιδημίας. Γι αυτό το λόγο χρησιμοποιείται ευρέως από επιχειρήσεις, κυβερνήσεις, εκπαιδευτικούς φορείς και ερευνητές και περιβαλλοντικές οργανώσεις.

9.1.1. Ρόλος του GIS σε κάθε φάση μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών μπορούν να συμβάλουν και να βοηθήσουν τις αρμόδιες αρχές σε κάθε στάδιο μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης, (όπως αυτή αναλύθηκε στο 4.2). Το Σχήμα 9.1 δείχνει μια συνοπτική παρουσίαση της διαχείρισης μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης και μερικά παραδείγματα κατά τη διάρκεια της οποίας το Gis παίζει σημαντικό ρόλο (πηγή: Godshalk, 1991), ενώ το Σχήμα 9.2 παρουσιάζει τη χρήση του GIS σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης γενικότερα (πηγή: «Gis Technology for Disasters and Emergency Management», Johnson R.)

Αναλυτικότερα:

- Σχεδιασμός (Planning): Τα προγράμματα καταστάσεων έκτακτης ανάγκης ξεκινούν με την τοποθέτηση και αναγνώριση των ενδεχόμενων έκτακτων προβλημάτων. Χρησιμοποιώντας το GIS, οι αρμόδιοι μπορούν να επισημάνουν κινδύνους και να αρχίσουν να εκτιμούν τις επιπτώσεις από μια ενδεχόμενη τέτοια κατάσταση ή καταστροφή. Όταν οι κίνδυνοι (σεισμικά ρήγματα, περιοχές με κίνδυνο πυρκαγιάς ή πλημμύρας κλπ) συνδυάζονται με άλλα στοιχεία ενός χάρτη (δρόμους, αγωγούς, κτίσματα, κατοικίσιμες περιοχές, βιομηχανικές εγκαταστάσεις κλπ), οι ειδικοί μπορούν να αρχίσουν να σχεδιάζουν την προετοιμασία έναντι τέτοιων καταστάσεων, τον μετριασμό των επιπτώσεών τους και τον τρόπο αντιμετώπισής τους. Η ανθρώπινη ζωή και περιουσία και οι περιβαλλοντικές αξίες που βρίσκονται σε υψηλή

διακινδύνευση από μια τέτοια κατάσταση γίνονται εμφανή. Το προσωπικό δημόσιας ασφάλειας μπορεί να επικεντρωθεί εκεί όπου τα μέτρα πρόληψης είναι απαραίτητα, εκεί όπου οι προσπάθειες αντιμετώπισης πρέπει να είναι εντονότερες και η επαναφορά του περιβάλλοντος αναγκαία. Προτού εφαρμοστεί ένα αποδοτικό σχέδιο διαχείρισης μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης, πρέπει να προηγηθεί ανάλυση και σχεδιασμός. Το GIS συμβάλλει σ' αυτή τη διαδικασία επιτρέποντας στους αρμόδιους να δοκιμάσουν τους κατάλληλους συνδυασμούς χωρικών δεδομένων μέσω ψηφιακών χαρτών.

- **Μετριασμός (Mitigation):** Μόλις αναγνωριστούν οι ενδεχόμενες περιπτώσεις καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, οι ανάγκες μετρίασης αυτών μπορούν να αποφασιστούν και να μπου σε σειρά προτεραιότητας. Σε περίπτωση σεισμού, τι κατασκευές υπάρχουν στην βασική ζώνη επίπτωσης από το σεισμό; Με βάση το μέγεθος του αναμενόμενου σεισμού και τα γεωλογικά δεδομένα, τι ζημιά μπορεί να συμβεί; Ποιες εγκαταστάσεις χρειάζονται μέτρα ενίσχυσης ή και ολόκληρη μεταφορά σε άλλη τοποθεσία; Ο μετριασμός μπορεί να περιλαμβάνει ειδική νομοθεσία που θέτει όρια στην κατασκευή κτιρίων σε ζώνες πλημμύρας ή σεισμού ή στη χρήση ειδικών υλικών έναντι πυρκαγιάς. Τα στοιχεία που διακινδυνεύουν μπορούν να αναγνωριστούν εύκολα μέσω του GIS χρησιμοποιώντας ήδη υπάρχουσες γεωβάσεις συνδεδεμένες με γεωγραφικά χαρακτηριστικά, κάτι που προσφέρει το GIS. Πού είναι οι περιοχές που κινδυνεύουν από ένα ατύχημα πετρελαιοκηλίδας ή πυρκαγιάς; Ποιοί συνδυασμοί (για παράδειγμα, τοπογραφίας, καιρικών συνθηκών, χρήσεων γης) συνιστούν στον κίνδυνο πετρελαιοκηλίδας; Το GIS μπορεί να αναγνωρίσει συγκεκριμένες χρήσεις γης που κινδυνεύουν περισσότερο από ένα τέτοιο ατύχημα. Ή κατηγορίες εδάφους που κινδυνεύουν από σεισμό ή την πιθανή πορεία μιας πλημμύρας με βάση τα ρεύματα και τους ανέμους. Τέλος, η ανθρώπινη ζωή και άλλες αξίες που βρίσκονται σε ρίσκο μπορούν να αναγνωριστούν γρήγορα και να λάβουν χώρα δράσεις για την προστασία τους.
- **Προετοιμασία (Preparedness):** Η προετοιμασία περιλαμβάνει αυτές τις ενέργειες που προετοιμάζουν για μια πραγματική κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Το GIS μπορεί να παρέχει την απάντηση σε ερωτήσεις όπως πού θα πρέπει να τοποθετηθούν σταθμοί πυρόσβεσης, ποιες διαδρομές εκκένωσης να ακολουθηθούν εάν απελευθερωθεί από ατύχημα μια ποσότητα τοξικής ουσίας από μια βιομηχανική εγκατάσταση υπό διαφορετικά σενάρια ανέμου, εάν τα οδικά δίκτυα θα ανταποκριθούν στην κυκλοφορία των ατυχημάτων, ποια σημεία θα μπορούν να παρέχουν καταφύγιο και πολλά άλλα. Το GIS μπορεί να παρέχει παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο για την έγκαιρη προειδοποίηση μιας επερχόμενης κατάστασης έκτακτης ανάγκης. Απομακρυσμένοι μετεωρολογικοί σταθμοί μπορούν να παρέχουν τρέχουσες καιρικές συνθήκες όπως τη διεύθυνση του ανέμου, τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία. Πληροφορίες για τον άνεμο είναι πολύ σημαντικές για την πρόβλεψη τροχιάς της πετρελαιοκηλίδας ή την πορεία μιας πυρκαγιάς. Οι κινήσεις των τεκτονικών πλακών, η στάθμη του ταμιευτήρα στα φράγματα, η πορεία της ακτινοβολίας, όλα αυτά μπορούν να παρακολουθούνται και να

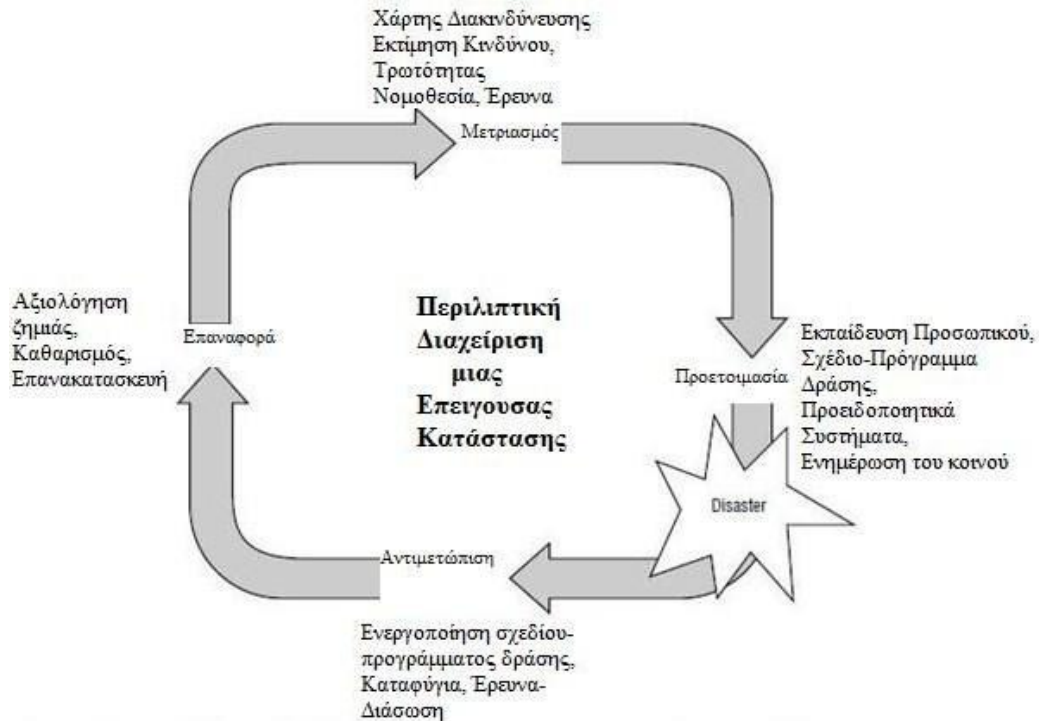
παρουσιάζονται ανά τοποθεσία με το GIS. Είναι μάλιστα πιθανό να παρέχεται αυτού του είδους η πληροφορία στο διαδίκτυο για την ενημέρωση του κοινού.

- Αντιμετώπιση (Response): Το GIS μπορεί να παρέχει βασικά συστατικά για συστήματα CAD. Μονάδες ανταπόκρισης σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης σε συγκεκριμένες τοποθεσίες μπορούν να επιλεγούν για την άμεση αντιμετώπιση της κατάστασης. Οι κοντινότερες μονάδες ενεργοποιούνται και αποστέλλονται αμέσως μόλις καθοριστεί η τοποθεσία του ατυχήματος. Ανάλογα με το ατύχημα, το GIS μπορεί να παρέχει αναλυτικές πληροφορίες προτού καταφτάσει η πρώτη μονάδα. Για παράδειγμα, σε περίπτωση πυρκαγιάς ενός κτιρίου δημόσιας χρήσης, το GIS μπορεί να αναγνωρίσει τους κοντινότερους πυροσβεστικούς κρουνοί, ηλεκτρικούς πίνακες, τα επικίνδυνα υλικά και το σχέδιο κάθε ορόφου, όσο η μονάδα βρίσκεται καθοδόν για την αντιμετώπιση της κατάστασης. Για πετρελαιοκηλίδες, μπορεί να μοντελοποιηθεί η διεύθυνση και η ταχύτητα της κίνησης της κηλίδας ώστε να αποφασιστεί και η ζώνη τοποθέτησης των μέτρων αντιμετώπισης. Σε περίπτωση καταστροφής σε διάφορες τοποθεσίες ταυτόχρονα, το GIS με τη βοήθεια του GPS μπορεί να υποδείξει τις τρέχουσες θέσεις των μονάδων αντιμετώπισης έκτακτης κατάστασης και τις αρμοδιότητες της καθεμιάς ελέγχοντας την κατάσταση όλων των περιοχών και όσο προστίθενται κι άλλες μονάδες, να ανανεώνεται αντίστοιχα και ο χάρτης και οι προτεινόμενες ενέργειες αντιμετώπισης της κατάστασης.
- Επαναφορά του Περιβάλλοντος (Recovery): Οι προσπάθειες επαναφοράς ξεκινούν όταν η επείγουσα κατάσταση τελειώσει (άμεση απειλή της ανθρώπινης ζωής και του περιβάλλοντος). Χωρίζονται σε προσπάθειες βραχυπρόθεσμης και μακροπρόθεσμης επαναφοράς του περιβάλλοντος.

Οι βραχυπρόθεσμες αναφέρονται στην επαναφορά ζωτικών συστημάτων και υπηρεσιών. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει προσωρινό φαγητό, νερό και καταφύγιο σε πληγέντες πολίτες από τυφώνα. Το GIS μπορεί και σ αυτή τη φάση να συμβάλει ενεργά. Μία από τις πιο δύσκολες διαδικασίες σε μια καταστροφή είναι η εκτίμηση της ζημιάς και το GIS, σε συνεργασία με το GPS, μπορεί να τοποθετήσει κάθε κατεστραμμένη εγκατάσταση, να αναγνωρίσει το μέγεθος και τον τύπο της ζημιάς και να ιεραρχήσει τις ενέργειες. Οι παροχές των κέντρων επείγουσών καταστάσεων (ιατρικές, φαγητό, νερό, ρούχα) μπορούν να υπολογιστούν και να καταμεριστούν καταλλήλως σε κάθε περιοχή ανάλογα με το βαθμό της ζημιάς με τη βοήθεια του GIS ενώ τα σχέδια δράσης μπορούν να οπτικοποιηθούν και να ενημερώνονται συνεχώς για μια καλύτερη οργάνωση των καταφυγίων. Αυτή η ιδιότητα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για περιπτώσεις μεγάλων καταστροφών όπου οι ενέργειες είναι σε εξέλιξη σε διάφορες περιοχές.

Οι μακροπρόθεσμες προσπάθειες στοχεύουν στην επαναφορά όλων των υπηρεσιών στο φυσιολογικό ή και σε καλύτερο επίπεδο (αποκατάσταση κτιρίων, υδρευτικών συστημάτων, οδικών δικτύων κλπ) και μπορεί να διαρκέσει χρόνια. Η ιεράρχηση των κύριων επενδύσεων για αποκατάσταση μπορεί να γίνει με τη σύσταση του GIS, ενώ η ολοκλήρωση της επαναφοράς

μπορεί να παρακολουθείται και να παρουσιάζεται οπτικά μέσω του GIS. Επίσης μπορεί να συμβάλει στον υπολογισμό του οικονομικού κόστους που δαπανήθηκε για κάθε περιοχή και για κάθε είδους ενέργεια.



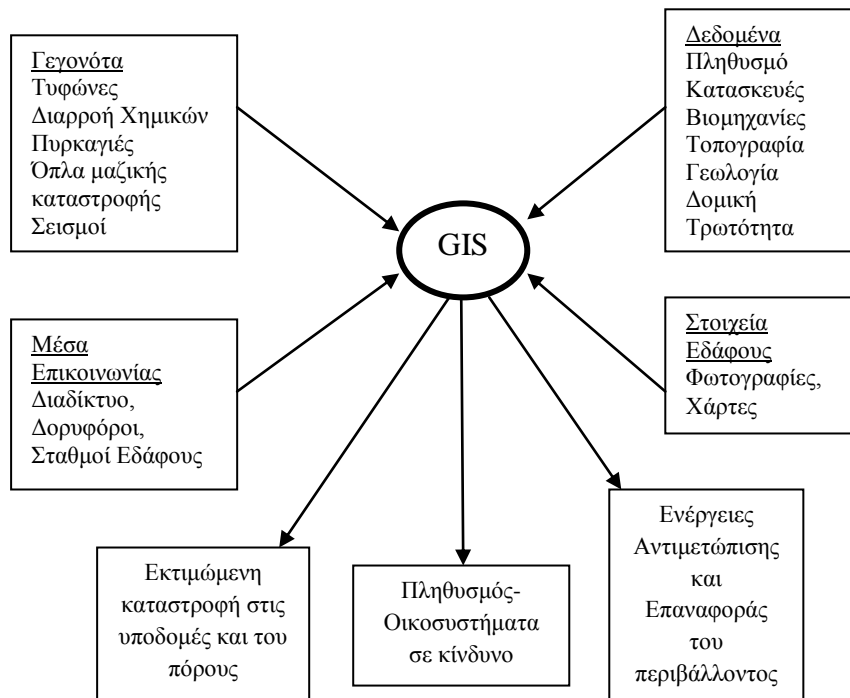
Σχήμα 9.1 Συνοπτική παρουσίαση της διαχείρισης μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης και μερικά παραδείγματα κατά τη διάρκεια της οποίας το Gis παίζει σημαντικό ρόλο (πηγή: Godshalk, 1991)

Τα προγράμματα διαχείρισης μια επείγουσας κατάστασης αναπτύσσονται και εφαρμόζονται μέσω της ανάλυσης των πληροφοριών. Η πλειοψηφία αυτών είναι χωρικές και μπορούν να χαρτογραφηθούν. Μόλις γίνει αυτό και τα δεδομένα συσχετιστούν με ένα χάρτη, η διαδικασία διαχείρισης μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης ξεκινάει. Μόλις η ανθρώπινη ζωή, περιουσία και οι περιβαλλοντικές αξίες συνδυαστούν με τον κίνδυνο, το υπεύθυνο προσωπικό για μια επείγουσα κατάσταση μπορεί να ξεκινήσει να σχηματίζει τα προγράμματα μετρίασης, προετοιμασίας και αντιμετώπισής της.

Όλες οι φάσεις μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης βασίζονται σε δεδομένα διαφόρων πηγών. Τα κατάλληλα δεδομένα πρέπει να συλλεχθούν, να οργανωθούν και να παρουσιαστούν λογικά ώστε να αποφασιστεί το μέγεθος και η έκταση του προγράμματος της έκτακτης ανάγκης. Είναι πολύ σημαντικό κατά τη διάρκεια μιας τέτοιας κατάστασης να παρέχονται τα σωστά δεδομένα την κατάλληλη στιγμή και να παρουσιάζονται λογικά έτσι ώστε να υπάρχει η κατάλληλη ανταπόκριση και ανάληψη δράσης για την αντιμετώπισή της. Καθώς πολλές φορές μπορεί να εμπλέκονται διάφοροι κυβερνητικοί και μη φορείς στην ίδια κατάσταση έκτακτης ανάγκης, χρησιμοποιώντας το gis είναι δυνατό όλοι οι εμπλεκόμενοι να μοιράζονται

πληροφορίες μέσω γεωβάσεων που αναφέρονται σε ψηφιακούς χάρτες μιας τοποθεσίας, δυνατότητα πολύ σημαντική αν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης συνήθως δεν επιτρέπουν μεγάλο χρονικό διάστημα λήψης απόφασης σχετικά με την αντιμετώπισή τους. Σε αντίθετη περίπτωση οι υπεύθυνοι θα είχαν το δικό τους μοναδικό χάρτη και δεδομένα στα οποία θα έπρεπε να βασίσουν την απόφασή τους, με κίνδυνο αυτά να είναι μερικές φορές ανεπαρκή ενώ η διαδικασία θα κόστιζε χρόνο, χρήμα και ίσως και ζωές.

Ιστορικά, τα προγράμματα διαχείρισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης σχεδιάζονται και εφαρμόζονται και τροποποιούνται ανάλογα με την κατάσταση τη στιγμή που αυτή συμβαίνει. Το Gis επιτρέπει όλες αυτές τις ενέργειες προτού ένα οποιοδήποτε ατύχημα λάβει χώρα. Έτσι το προσωπικό μπορεί να είναι κατάλληλα εκπαιδευμένο από πριν για την διαχείρισή της αν συμβεί πραγματικά και κυρίως το Gis μπορεί να οδηγήσει στην αποφυγή του πανικού και της έκπληξης απέναντι σ ένα τέτοιο γεγονός.



Σχήμα 9.2 Χρήση του GIS στη διαχείριση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης (πηγή: «Gis Technology for Disasters and Emergency Management», Johnson R.)

9.2 Παρουσίαση της Μεθοδολογίας

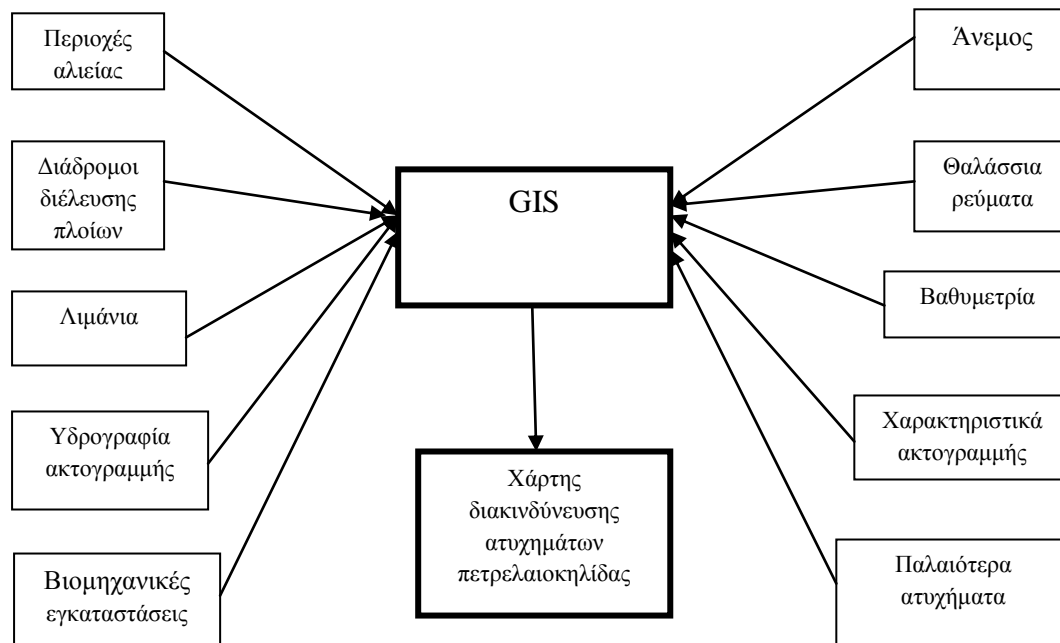
Η 2^η μεθοδολογία βασίζεται στο υδροδυναμικό μοντέλο όπως παρουσιάστηκε στο 7.2.1. και στη χρήση εργαλείων του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS) της ESRI. Σε αυτήν την μεθοδολογία ορίζεται η επικινδυνότητα ως το γινόμενο του κινδύνου επί την τρωτότητα, ακολουθείται δηλαδή η εξίσωση (9.1) για τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας της περιοχής από ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας:

$$\text{Διακινδύνευση} = \text{Κίνδυνος} \times \text{Τρωτότητα}$$

ή

$$\text{Risk} = \text{Hazard} \times \text{Vulnerability} \quad (9.1)$$

Στο Σχήμα 9.3 παρουσιάζεται μια σχηματική απεικόνιση της μεθοδολογίας:



Σχήμα 9.3 Σχηματική απεικόνιση της 2^{ης} μεθοδολογίας (πηγή: Ivanov, Zatyagalova, 2008)

Στο σημείο αυτό κρίνεται σημαντικό να γίνει αποσαφήνιση των εννοιών που θα χρησιμοποιηθούν στη συγκεκριμένη μεθοδολογία και μια αντιστοίχιση με τις έννοιες στα αγγλικά που χρησιμοποιούνται στην Οδηγία 2000/60 για τα νερά, όπως και στην Οδηγία 2007/60 για τις πλημμύρες που ακολούθησε. Ο λόγος είναι ότι οι διάφορες έννοιες χρησιμοποιούνται με διαφορετικό τρόπο από τις διάφορες πηγές, το οποίο είναι πιθανό να προκαλέσει σύγχυση. Πρόκειται για τις έννοιες «hazard», «risk» και κατ' επέκταση «hazard map» και «risk map». Οι αντίστοιχοι όροι στα Ελληνικά που θα χρησιμοποιηθούν και θα ταυτιστούν με τις παραπάνω έννοιες είναι οι έννοιες «κίνδυνος», «διακινδύνευση ή επικινδυνότητα», «χάρτης κινδύνου» και «χάρτης διακινδύνευσης/επικινδυνότητας». Οι έννοιες λοιπόν που καλούμαστε να κατανοήσουμε για την μετέπειτα μελέτη είναι οι hazard, risk και επιπρόσθετα

vulnerability/sensitivity και στα ελληνικά αντίστοιχα κίνδυνος, επικινδυνότητα, διακινδύνευση, τρωτότητα. Ο ορισμός τους (πηγή: Λεξικό Μπαμπινιώτη Γ., Collins English Dictionary) περιγράφεται αναλυτικά στη συνέχεια.

α.) Κίνδυνος (ο): 1. Το αρνητικό ενδεχόμενο, πιθανότητα να συμβεί κάτι κακό 2. Οτιδήποτε (πράξη κατάσταση συμπεριφορά κλπ) μπορεί να προκαλέσει καταστροφή, να επιφέρει απώλειες και φθορές ή μπορεί να φέρει σε επικίνδυνη θέση (κάποιον ή κάτι) 3. Το κακό που απειλεί τη ζωή, την αρτιμέλεια, την υγεία, την προσωπικότητα ή την περιουσία (κάποιου) 4. η διακινδύνευση

β.) Διακινδυνεύω ρ.: θέτω σε κίνδυνο, εκθέτω σε κίνδυνο (συν. διακυβεύω, ρισκάρω, ρισκοκινδυνεύω)

γ.) Επικινδυνότητα (η): το να είναι κανείς επικίνδυνος (επικίνδυνος, -η, -ο: αυτός που εγκυμονεί κινδύνους, που χαρακτηρίζεται από κίνδυνο)

δ.) Τρωτός -ή, -ό: 1. αυτός που είναι δυνατόν να πληγωθεί εύκολα 2. αυτός που μπορεί εύκολα να πάθει (κάτι επιβλαβές)

Και αντίστοιχα στα Αγγλικά,

a.) Hazard: 1. A thing likely to cause injury, loss, etc. 2. Risk or likelihood of injury, loss, etc

b.) Risk: 1. The possibility about misfortune or loss 2. A person or thing considered as a potential hazard

c.) Vulnerable: 1. capable of being physically or emotionally wounded or hurt 2. Liable or exposed to attack

d.) Exposure: The act or the condition of being exposed (exposed: without shelter from the elements)

Στη συνέχεια, καλούμαστε να εξειδικεύσουμε στο πώς ερμηνεύονται οι παραπάνω έννοιες στο πεδίο των φυσικών καταστροφών. Στη βιβλιογραφική έρευνα που έγινε εντοπίστηκαν τα παρακάτω.

9.2.1 Ερμηνεία Βασικών Εννοιών

9.2.2.1 Κίνδυνος και Επικινδυνότητα/Διακινδύνευση (Hazard & Risk)

Στη βιβλιογραφική έρευνα που έγινε, εντοπίστηκε το πρόβλημα της διαφορετικής χρήσης των εννοιών που υπάρχουν στην Οδηγία 2000/60. Για την κάθε εργασία γίνονταν διαφορετικά η μετάφραση της κάθε λέξης και συνεπώς διαφορετική ερμηνεία δινόταν κάθε φορά στη μεταφρασμένη λέξη. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει ασάφεια μεταξύ των όρων «*hazard*» και «*risk*» ακόμα και στα αγγλικά λεξικά. Η ασάφεια αυτή μεταφέρεται αντίστοιχα στις έννοιες κίνδυνος και επικινδυνότητα (ή ίσως διακινδύνευση) που θα χρησιμοποιηθούν για να μεταφράσουν τις λέξεις αυτές.

Από τους ορισμούς έγκυρων λεξικών, όπως παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 1, γίνεται εμφανής η σύγχυση μεταξύ των δυο εννοιών. Πρέπει λοιπόν να εξετάσουμε το πώς η Οδηγία χρησιμοποιεί αυτές τις έννοιες για να εξηγήσει διεργασίες που αφορούν σε ένα φυσικό περιβαλλοντικό κίνδυνο, τις πλημμύρες και να καταλήξουμε στην ορολογία που θα χρησιμοποιηθεί σε αυτή εδώ τη διπλωματική εργασία. Η επιστημονική κοινότητα λοιπόν όταν αναφέρεται σε φυσικές καταστροφές χρησιμοποιεί τους εξής ορισμούς:

α.) Risk

«Risk is defined as the expected losses (of lives, persons injured, property damaged, and economic activity disrupted) due to a particular hazard for a given area and reference period. Based on mathematical calculations, risk is the product of hazard and vulnerability» (Πηγή: Weiguo Jiang et al.)

Συγκεκριμένα λοιπόν, ορίζουμε ως «διακινδύνευση (risk) πετρελαιοκηλίδας»: ο συνδυασμός της πιθανότητας να λάβει χώρα πετρελαιοκηλίδα και των δυνητικών αρνητικών συνεπειών για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες, που συνδέονται μ' αυτή την πετρελαιοκηλίδα.

β.) Hazard

Natural Hazards: "those elements of the physical environment, harmful to man and caused by forces extraneous to him" (Πηγή: Burton, I. et al., 1978).

"The hazard can be defined as a potential threat to humans and their welfare" (Smith, 1996)

Με μια γενική θεώρηση ο φυσικός κίνδυνος (hazard) είναι μια απειλή σε ένα σύστημα που περιλαμβάνει στοιχεία (elements) όπως ο άνθρωπος, οι περιουσίες, οι υποδομές, οι οικονομικές δραστηριότητες, το περιβάλλον και τα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς. Ο κίνδυνος εκδηλώνεται με μεταβαλλόμενη ένταση στο χώρο και στο χρόνο με αποτέλεσμα να απειλεί με διαφορετική ένταση κάθε σύστημα και κάθε στοιχείο που μελετάμε. (Τσακίρης Π., 2007) Γενικά ο κίνδυνος σχετίζεται με την πιθανότητα να συμβεί ένα ακραίο γεγονός που μπορεί να προκαλέσει καταστροφή συγκεκριμένης έντασης, σε συγκεκριμένο χώρο και χρόνο (GTZ, 2004).

Όπως η τρωτότητα αναφέρεται σε συγκεκριμένο κίνδυνο (πχ μια περιοχή μπορεί να είναι τρωτή σε σεισμό αλλά όχι σε πλημμύρα), έτσι και ο κίνδυνος, ως παράγωγό της, αντιστοιχεί κάθε φορά σε συγκεκριμένη μορφή απειλής (hazard) (Βικάτου Α., 2007).

Μία περισσότερο συνοπτική άποψη παρατίθεται στη συνέχεια: «Οι κίνδυνοι (Hazards) είναι ακραία φαινόμενα, τα οποία μπορεί να δημιουργήσουν διακινδύνευση (risk), και ενδεχομένως να αποτελέσουν καταστροφές, εάν τα στοιχεία που εκτίθενται (exposure) στον κίνδυνο είναι τρωτά (vulnerability) (Dao H., Peduzzi P., 2004)».

Μετά από τη βιβλιογραφική έρευνα που έγινε, κρίθηκε καλύτερο να ακολουθηθεί η προτεινόμενη ορολογία που έγινε από τον Καθηγητή Γ. Τσακίρη στην εργασία του "Συστημική Προσέγγιση στην Ανάλυση των Φυσικών Κινδύνων και των Φυσικών Καταστροφών". Ο λόγος ήταν ότι η συγκεκριμένη εργασία ήταν η μόνη που εντοπίστηκε στο πλαίσιο της βιβλιογραφικής έρευνας της παρούσας εργασίας στην οποία γινόταν αντιστοίχιση και πρόταση των κατάλληλων εννοιών της Οδηγίας για τα νερά από την Ε.Ε.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα χρησιμοποιηθεί ο όρος «κίνδυνος» ως μετάφραση του όρου «hazard» και ο όρος «επικινδυνότητα» ή προτιμότερα «διακινδύνευση» ως μετάφραση του όρου «risk» καθώς ο όρος «διακινδύνευση» αποδίδει ακριβέστερα τη σημασία όταν αναφερόμαστε στην αγγλική λέξη «risk» στο θέμα των φυσικών καταστροφών. Τέλος, για τους υπόλοιπους όρους ισχύει ότι εμφανίζεται στη μεσαία στήλη του Πίνακα 9.1 που ακολουθεί και αποτελεί την πρόταση του κ. Τσακίρη στη μετάφραση της ορολογίας της Οδηγίας 2000/60.

Πίνακας 9.1 Προτεινόμενη ορολογία στους όρους της οδηγίας 2007/60 για τα νερά (Πηγή: Τσακίρης Γ., 2007)

Όρος στην Οδηγία	Προτεινόμενος δόκιμος όρος	Δόκιμος όρος στην αγγλική γλώσσα
Επικινδυνότητα	Κίνδυνος	Hazard
Κίνδυνος	Διακινδύνευση	Risk
Κίνδυνος	Τρωτότητα	Vulnerability
Κίνδυνος πλημμύρας	Διακινδύνευση πλημμύρας	Flood risk
Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας	Χάρτης κινδύνου πλημμύρας	Flood hazard map
Χάρτης κινδύνου πλημμύρας	Χάρτης διακινδύνευσης πλημμύρας	Flood risk map
Διαχείριση κινδύνου πλημμύρας	Διαχείριση διακινδύνευσης πλημμύρας	Flood risk management
Σχέδια διαχείρισης κινδύνου πλημμύρας	Σχέδια διαχείρισης διακινδύνευσης πλημμύρας	Flood risk plans
Πλημμυρικές περιοχές	Πεδίο πλημμυρών	Floodplains
Περίοδος επαναληπτικότητας	Περίοδος επαναφοράς	Return period

9.2.1.2 Τρωτότητα (*Vulnerability*)

Σύμφωνα με τους Blaikie et al (2004) τρωτότητα σημαίνει «το να είναι μια μονάδα ή ένα σύστημα επιδεκτικό ή επιρρεπές σε ζημία, τραυματισμό ή άλλου είδους απώλειες». Εστιάζοντας στην κοινωνική πλευρά της έννοιας, «η τρωτότητα εκφράζεται από τα χαρακτηριστικά ενός ατόμου ή μιας κοινωνικής ομάδας που επηρεάζουν δυσμενώς τη δυνατότητά τους να προλαμβάνουν, να αντιμετωπίζουν, να αντιστέκονται και να επανακάμπτουν από τα αποτελέσματα ενός φυσικού κινδύνου».

Η τρωτότητα στο χώρο των καταστροφών συνδέεται με τη φυσική έκθεση σε ένα καταστροφικό γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα κάποιας μορφής απώλειες. Συνδυάζεται όμως και με την ανθρώπινη δυνατότητα/αδυναμία να αντιστέκεται, να προετοιμάζεται και να ανακάμπτει από το ίδιο γεγονός (Dalziell & McManus, 2004).

Η τρωτότητα (*vulnerability*) αντιπροσωπεύει τη δυνατότητα αντίστασης στον κίνδυνο ή τη δυνατότητα προστασίας των στοιχείων του συστήματος έναντι του συγκεκριμένου κινδύνου (Τσακίρης Π., 2009). Η τρωτότητα είναι εξ' ορισμού πολύπλοκη έννοια και πρόκειται για ένα δυναμικό μέγεθος. Κυριαρχούν στην τρωτότητα τα στοιχεία του χώρου και του χρόνου έτσι ώστε διαφορετικές όψεις τρωτότητας να δίνονται για κάθε συνδυασμό των στοιχείων αυτών. Στην επιστημονική κοινότητα υπάρχει σαφής διαχωρισμός μεταξύ φυσικής και κοινωνικο-οικονομικής τρωτότητας. Η φυσική τρωτότητα παράγει κοινωνικο-οικονομική τρωτότητα, και συμβαίνει σαφώς και το αντίστροφο.

9.3 Εφαρμογή της μεθοδολογίας στο Σαρωνικό κόλπο

9.3.1 Υπολογισμός Κινδύνου (*Hazard*)

Για τη δημιουργία του χάρτη κινδύνου (*hazard map*), λήφθηκαν υπόψη

- όλα τα λιμάνια του Σαρωνικού Κόλπου,
- τα ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας που συνέβησαν στη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας (2003-2012),
- οι βαριές παράκτιες βιομηχανικές μονάδες,
- οι οδοί κυκλοφορίας των πλοίων (*traffic routes-ship lanes*)
- τα αποτελέσματα του υδροδυναμικού μοντέλου, όπως αυτό περιγράφηκε παραπάνω (3.2.1.).
- στοιχεία βαθυμετρίας

α.) Λιμάνια

Στα λιμάνια δόθηκε διαφορετικός συντελεστής βαρύτητας ανάλογα με τις χρήσεις και την κίνηση που παρουσιάζουν, καθώς και από την ολική χωρητικότητα των πλοίων (*gross tonnage*) που εξυπηρετούνται σε αυτά (Πίνακας 9.2, 9.3).

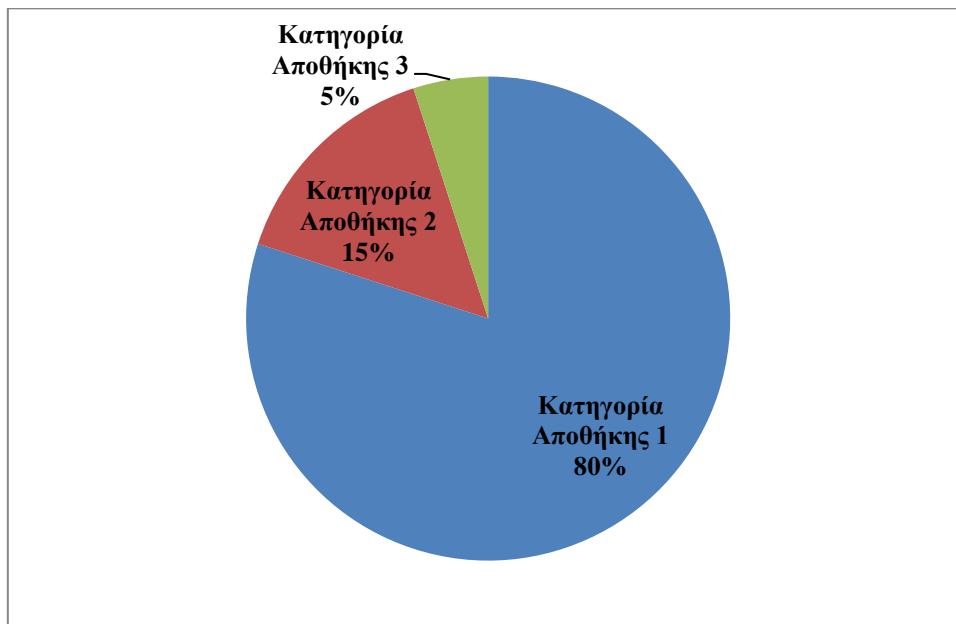
Σύμφωνα με τους Olita et al (2012), η ολική χωρητικότητα των πλοίων και ο κίνδυνος που αντιστοιχεί στην καθεμιά κατατάσσεται όπως φαίνεται στον Πίνακα 9.2. Η κατάταξη αυτή βασίζεται στο Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα DeEPP (*Development of European Guidelines for Potentially Polluting shipwrecks, DeEPP, 2007*)

Πίνακας 9.2 Οι τέσσερις κατηγορίες του ενδεχόμενου κινδύνου των πλοίων σχετιζόμενου με τον όγκο της αποθήκης των πλοίων. GT (*Gross Tonnage*) είναι η ολική χωρητικότητα των πλοίων.

Κατηγορία Αποθήκης	Αποθήκη (m ³)	GT	Ενδεχόμενος Κίνδυνος
1	<100	<500	Χαμηλός
2	100-500	500-3500	Μέτριος
3	500-2500	3500-25000	Υψηλός
4	>2500	>25000	Πολύ Υψηλός

Στο σύνολο των λιμανιών του Σαρωνικού Κόλπου, μετά από επεξεργασία στοιχείων της Ελληνικής Στατιστικής Υπηρεσίας, οι διελεύσεις των πλοίων χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες του Σχήματος 9.4 ανάλογα με το μέγεθος της αποθήκης των

πλοίων. Σύμφωνα με το Σχήμα, περίπου το 20% των πλοίων στα λιμάνια του Σαρωνικού κόλπου ανήκουν στην κατηγορία του μεσαίου κινδύνου και άνω.



Σχήμα 9.4 Οι διελεύσεις πλοίων ανάλογα με τον όγκο της αποθήκης τους

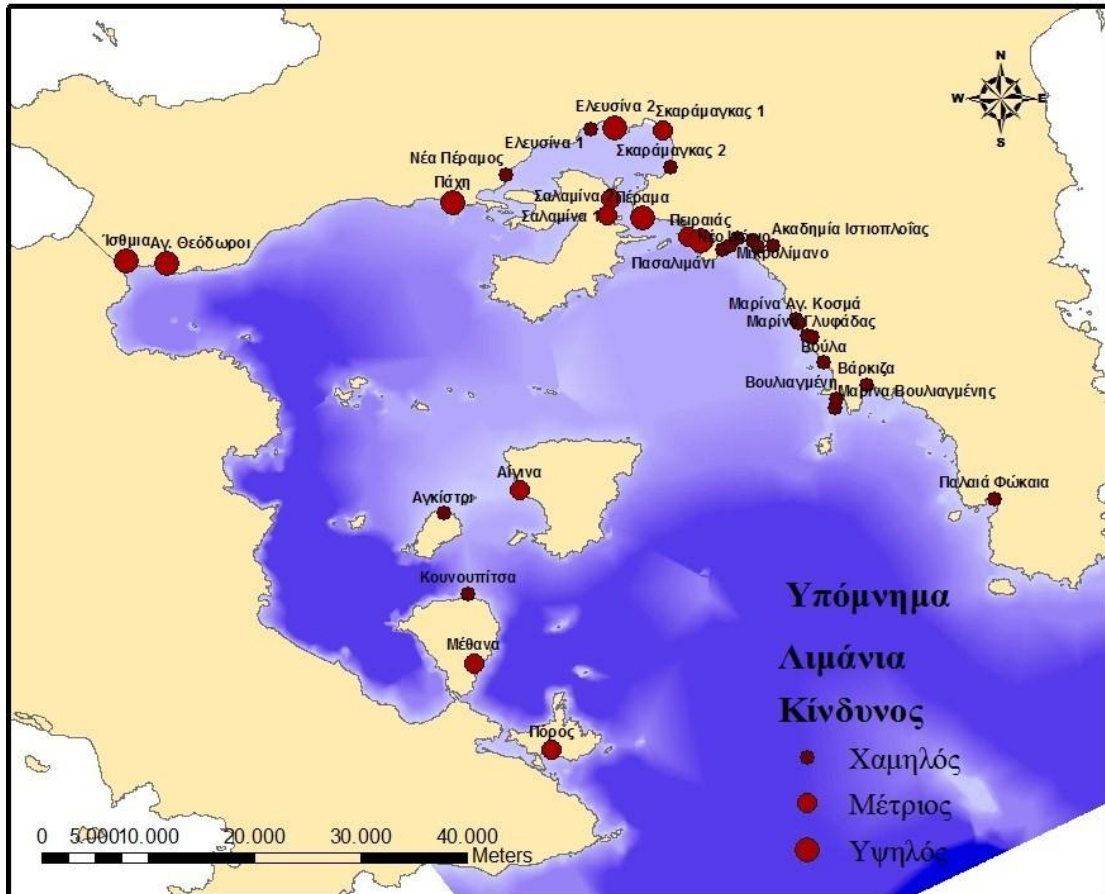
Έτσι, όσον αφορά τον κίνδυνο που παρουσιάζει κάθε λιμάνι, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παραπάνω παράγοντες, αυτά κατηγοριοποιήθηκαν ως εξής:

Πίνακας 9.3 Κατηγοριοποίηση λιμανιών Σαρωνικού Κόλπου ως προς τον κίνδυνο που παρουσιάζουν έναντι ατυχήματος πετρελαιοκηλίδας

Λιμάνι	Χρήσεις Λιμανιού	ΕΤΗΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ		ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ		Κίνδυνος (Hazard)
		Αριθμός Πλοίων	Συνολική Χωρητικότητα (GT)	Αριθμός Πλοίων	Συνολική Χωρητικότητα (GT)	
Πόρος	Επιβατικό, Αναψυχής, Αλιείας	19213	459828	53	1260	Μέτριος
Μέθανα	Αναψυχής, Αλιείας	3480	5209	10	14	Μέτριος
Κουνουπίτσα	Αναψυχής, Αλιείας	0	0	0	0	Χαμηλός
Αγκίστρι	Επιβατικό, Αναψυχής, Αλιείας	1849	153723	5	421	Χαμηλός
Αίγινα	Επιβατικό, Αναψυχής, Αλιείας	13445	1446183	37	3962	Μέτριος
Ίσθμια	Λιμενικές εγκαταστάσεις, διυλιστήρια	271	722445	1	1979	Υψηλός
Αγ. Θεόδωροι	Βιομηχανικές εγκαταστάσεις διυλιστήρια	1258	19221705	3	52662	Υψηλός
Μέγαρα-Πάχη	Αναψυχής, Αλιείας	17945	6831815	49	18717	Υψηλός
Νέα Πέραμος	Αναψυχής, Αλιείας	0	0	0	0	Χαμηλός
Ελευσίνα 1	Λιμενικές εγκαταστάσεις, διυλιστήρια	0	0	0	0	Χαμηλός
Ελευσίνα 2	Εμπορικό, αναψυχής, αλιείας	3300	9765397	2	26755	Υψηλός
Σκαράμαγκας 1	Επισκευή πλοίων	56	20162	0	55	Μέτριος
Σκαράμαγκας 2	Στρατιωτικές εγκαταστάσεις	0	0	0	0	Χαμηλός
Σαλαμίνα 1	Στρατιωτικές εγκαταστάσεις	37900	1563662	104	4284	Μέτριος
Σαλαμίνα 2	Επιβατικό, Αναψυχής, Αλιείας	18698	480599	51	1317	Μέτριος
Πέραμα	Επισκευή πλοίων, λιμενικές εγκαταστάσεις	28107	3471046	77	9510	Υψηλός
Νέο Ικόνιο	Εμπορικό	208	35814	1	98	Μέτριος
Πειραιάς	Επιβατικό	29590	23492288	81	64362	Υψηλός

Πασαλιμάνι	Αναψυχής	0	0	0	0	Χαμηλός
Μικρολίμανο	Αναψυχής, Αλιείας	0	0	0	0	Χαμηλός
Athens Marina	Αναψυχής	0	0	0	0	Χαμηλός
Ναυτικός Όμιλος	Αναψυχής, Θαλάσσια σπορ	0	0	0	0	Χαμηλός
Μαρίνα Φλοίσβου	Αναψυχής, Θαλάσσια σπορ	0	0	0	0	Χαμηλός
Ακαδημία Ιστιοπλοΐας	Θαλάσσια σπορ	0	0	0	0	Χαμηλός
Μαρίνα Αγ. Κοσμά	Αναψυχής	0	0	0	0	Χαμηλός
Λιμάνι Σκαφών Γλυφάδας	Αναψυχής	0	0	0	0	Χαμηλός
Μαρίνα Γλυφάδας	Αναψυχής	0	0	0	0	Χαμηλός
Καταφύγιο Αλιευτικών Γλυφάδας	Αλιείας	0	0	0	0	Χαμηλός
Βούλα	Αναψυχής	0	0	0	0	Χαμηλός
Βουλιαγμένη	Εγκαταστάσεις θαλάσσιων σπορ	0	0	0	0	Χαμηλός
Μαρίνα Βουλιαγμένης	Αναψυχής	0	0	0	0	Χαμηλός
Βάρκιζα	Αναψυχής, Αλιείας	0	0	0	0	Χαμηλός
Παλαιά Φώκεια	Αναψυχής, Αλιείας	0	0	0	0	Χαμηλός

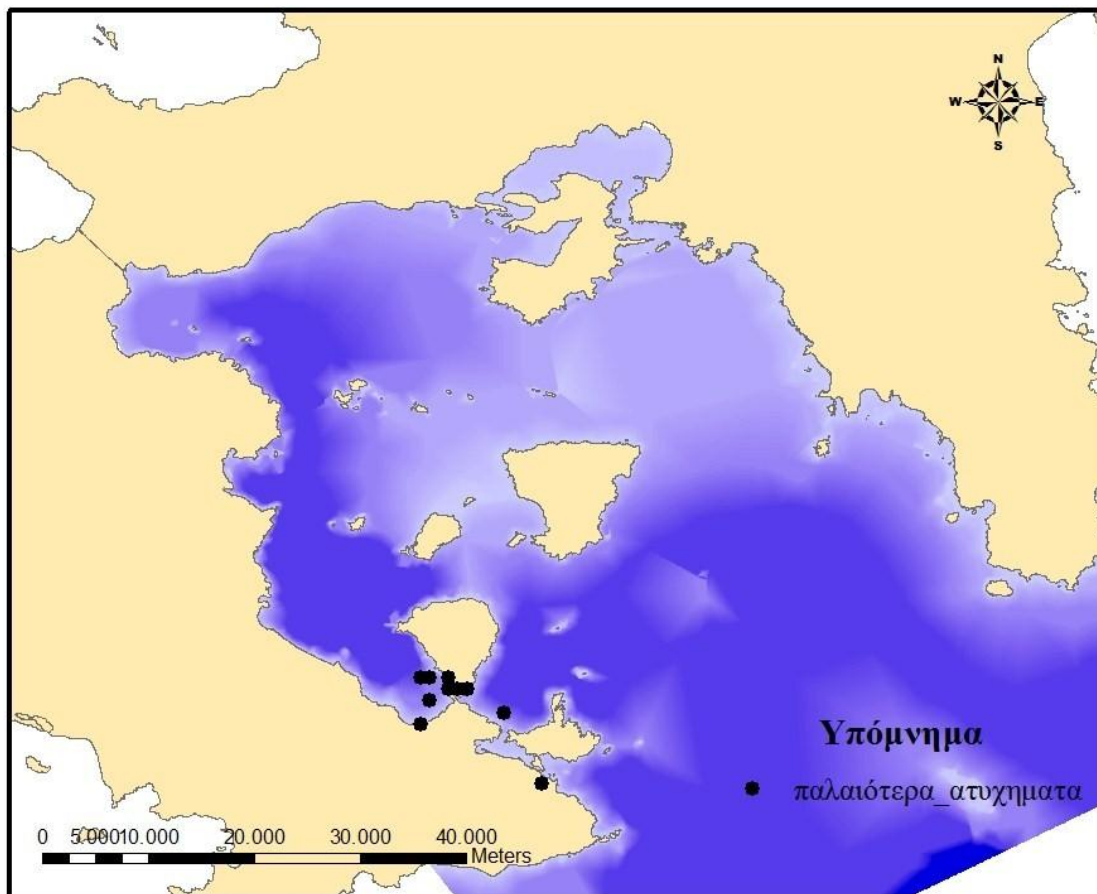
Το αποτέλεσμα της κατηγοριοποίησης των λιμανιών ως προς την κίνηση που παρουσιάζουν, τις χρήσεις τους και το μέγεθος των πλοίων που εξυπηρετούν, φαίνεται στο Χάρτη 9.1:



Χάρτης 9.1 Λιμάνια Σαρωνικού Κόλπου ως προς τον κίνδυνο που παρουσιάζουν (προσωπική επεξεργασία στο Gis)

β.) Παλαιότερα ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας

Όσον αφορά τα παλαιότερα ατυχήματα, σύμφωνα με στοιχεία της Διεύθυνσης Προστασίας του Θαλασσίου Περιβάλλοντος, αυτά έλαβαν χώρα στα σημεία που υποδεικνύονται από το Χάρτη 9.2:



Χάρτης 9.2 Ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας στον Σαρωνικό Κόλπο 2003-2012 (πηγή στοιχείων: Υπουργείο Ναυτιλίας και Αιγαίου, Δ/ση Προστασίας Θαλασσίου Περιβάλλοντος, προσωπική επεξεργασία στο Gis)

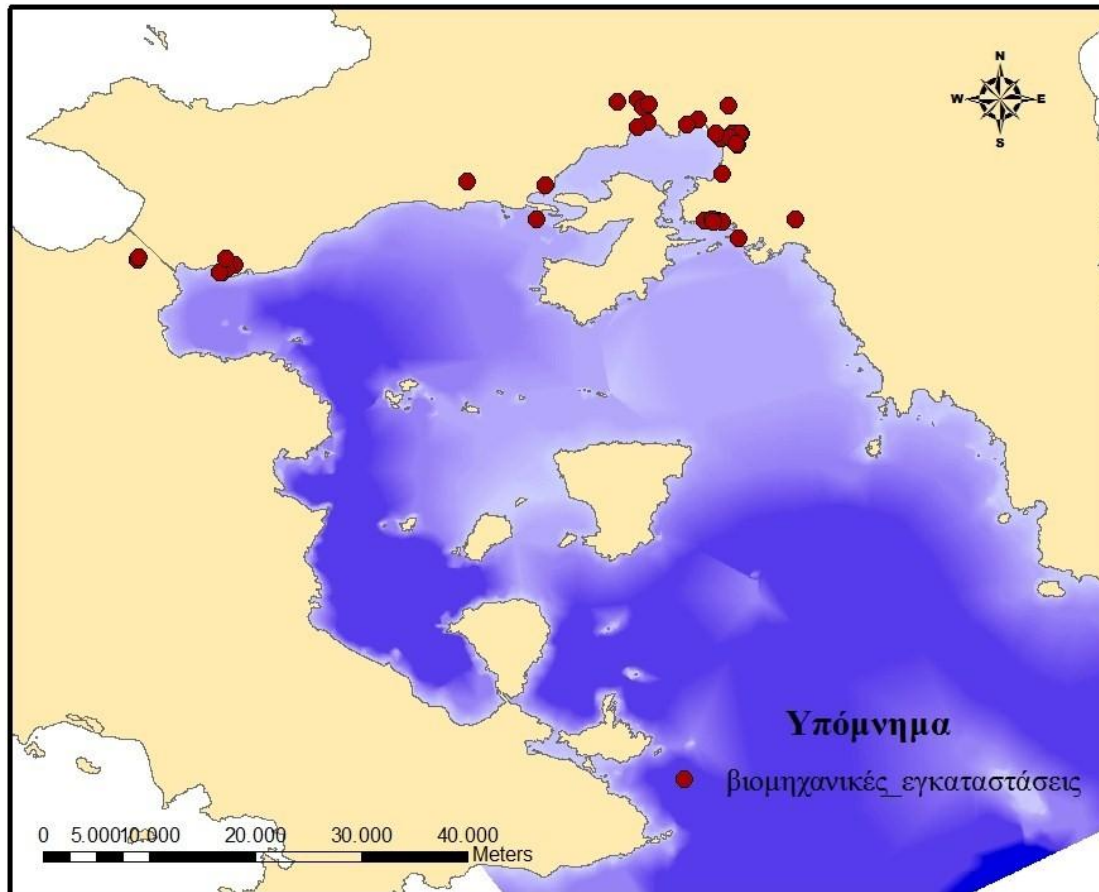
Συνολικά, στη δεκαετία 2003-2012 σημειώθηκαν στον Σαρωνικό Κόλπο 45 ατυχήματα μέγιστης επιφάνειας μόλυνσης τα 2000 m².

Να σημειωθεί ότι στα παραπάνω περιστατικά του Σαρωνικού κόλπου δεν συμπεριλήφθηκαν τα ατυχήματα που συνέβησαν στο κόλπο της Ελευσίνας, καθώς στα περισσότερα από αυτά η ποσότητα του πετρελαιοειδούς που απορρίφθηκε στη θάλασσα ήταν κατ' εκτίμηση μικρότερη του ενός κυβικού μέτρου.

Σε όλα τα παλαιότερα ατυχήματα δόθηκε ο ίδιος συντελεστής βαρύτητας στη φάση δημιουργίας του χάρτη κινδύνου, καθώς δεν μπορούμε να θεωρήσουμε ένα ατύχημα πιο σημαντικό από κάποιο άλλο στην πιθανότητα εκδήλωσης μελλοντικού κινδύνου κρίνοντας μόνο από την ποσότητα που διέρρευσε στο καθένα από αυτά. Σίγουρα όμως δεν αποτελεί τυχαίο (ή αμελητέο) γεγονός το ότι μέσα σε μια ολόκληρη

δεκαετία όλα τα ατυχήματα συνέβησαν σε πολύ κοντινές συντεταγμένες και γι αυτό το λόγο αυτό που ενδιαφέρει στη μελέτη μας είναι η θέση εκδήλωσής τους.

γ.) Παράκτιες Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις

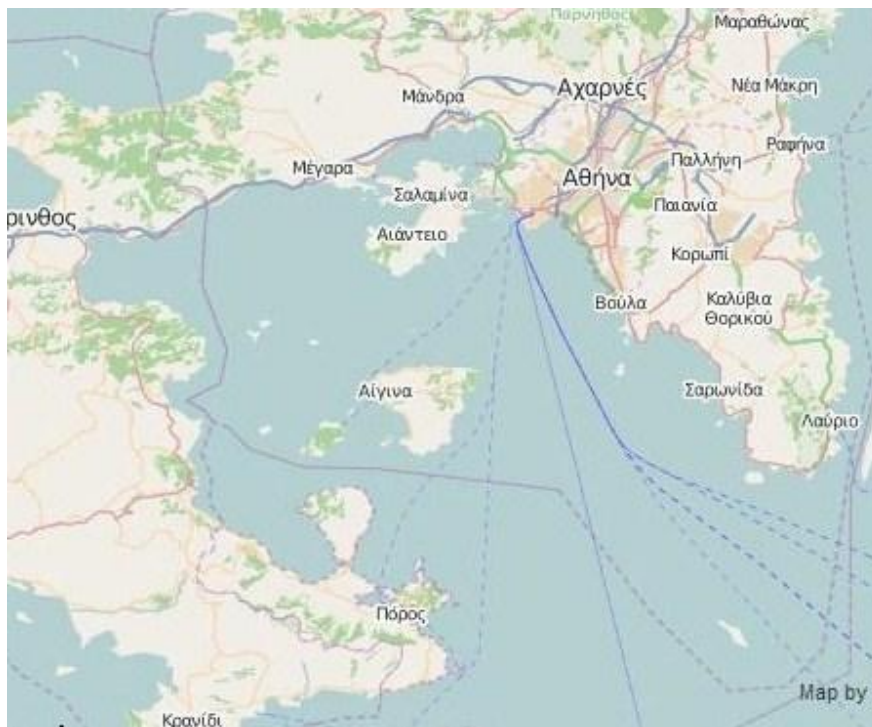


Χάρτης 9.3 Παράκτιες βιομηχανικές εγκαταστάσεις (πηγή στοιχείων: geodata.gov.gr/maps/, προσωπική επεξεργασία στο Gis)

Στις παραπάνω παράκτιες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, περιέχονται οι θέσεις των εγκαταστάσεων όπου εφαρμόζεται η οδηγία SEVESO. Η οδηγία στοχεύει στην πρόληψη μεγάλων ατυχημάτων σχετιζομένων με επικίνδυνες ουσίες και στον περιορισμό των συνεπειών τους επί του ανθρώπου και του περιβάλλοντος, προκειμένου να εξασφαλισθεί κατά συνεκτικό και αποτελεσματικό τρόπο υψηλή διακοινοτική προστασία. Γι αυτό το λόγο, αποδόθηκε σ αυτές συντελεστής υψηλού κινδύνου (hazard high). Τα στοιχεία είναι από τα Δημόσια, Ανοικτά Δεδομένα (<http://geodata.gov.gr/maps/>)

δ.) Διάδρομοι κυκλοφορίας των πλοίων (Ship Lanes)

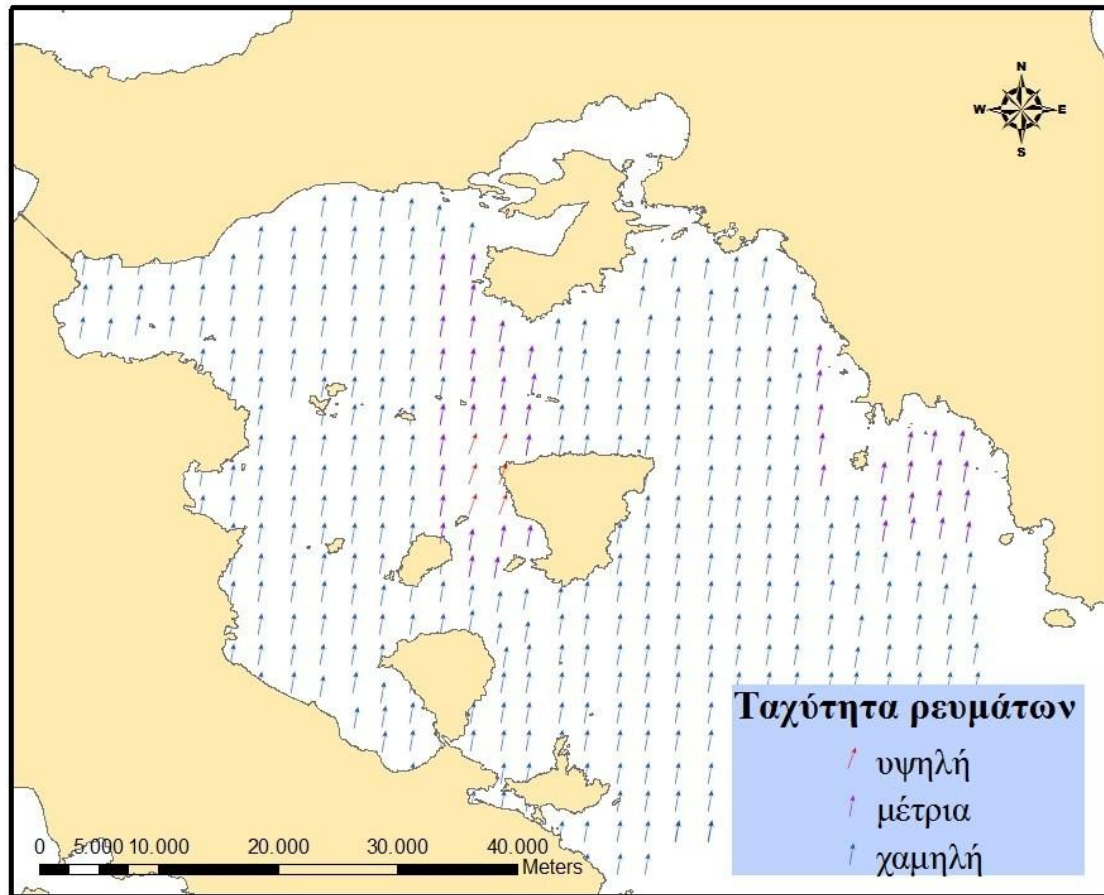
Ένα ατύχημα πετρελαιοκηλίδας μπορεί να συμβεί οπουδήποτε. Σίγουρα όμως η πιθανότητα είναι μεγαλύτερη στους δρόμους κυκλοφορίας που χρησιμοποιούν τα πλοία, από τους οποίους κάποιοι είναι κοντά σε παράκτιες περιοχές και κάποιοι όχι και κάποιο σε περιοχές με εντονότερα θαλάσσια ρεύματα από άλλους. Επομένως είναι ένα στοιχείο που δεν θα μπορούσε να παραληφθεί στον υπολογισμό του κινδύνου έναντι ατυχήματος πετρελαιοκηλίδας. Στον Χάρτη 9.4 απεικονίζονται οι δρόμοι κυκλοφορίας των πλοίων στο Σαρωνικό κόλπο.



Χάρτης 9.4 Συχνότεροι διάδρομοι διέλευσης των πλοίων στο Σαρωνικό κόλπο (πηγή στοιχείων: openseamap.org)

ε.) Υδροδυναμικό Μοντέλο

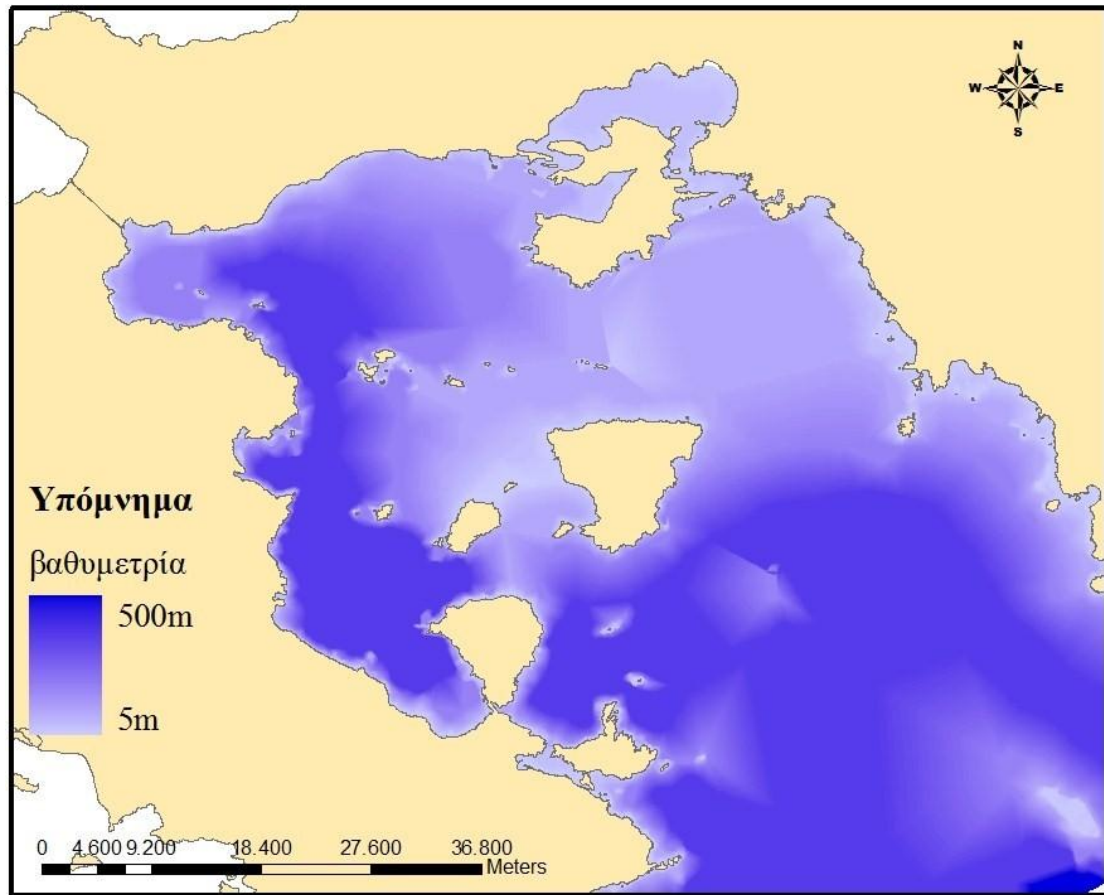
Πρόκειται για το υδροδυναμικό μοντέλο όπως περιγράφηκε στο 7.2.1. Τα αποτελέσματά του εισήχθησαν στο πρόγραμμα του Gis. Στον Χάρτη 9.5 παρουσιάζονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα που αφορούν Νότιο άνεμο με ταχύτητα 3bf.



Χάρτης 9.5 Επιφανειακά ρεύματα Σαρωνικού Κόλπου για Ν άνεμο-3bf (πηγή στοιχείων: Otay et al., 2013, Παπαδονικολάκη 2013, προσωπική επεξεργασία στο Gis)

στ.) Στοιχεία Βαθυμετρίας

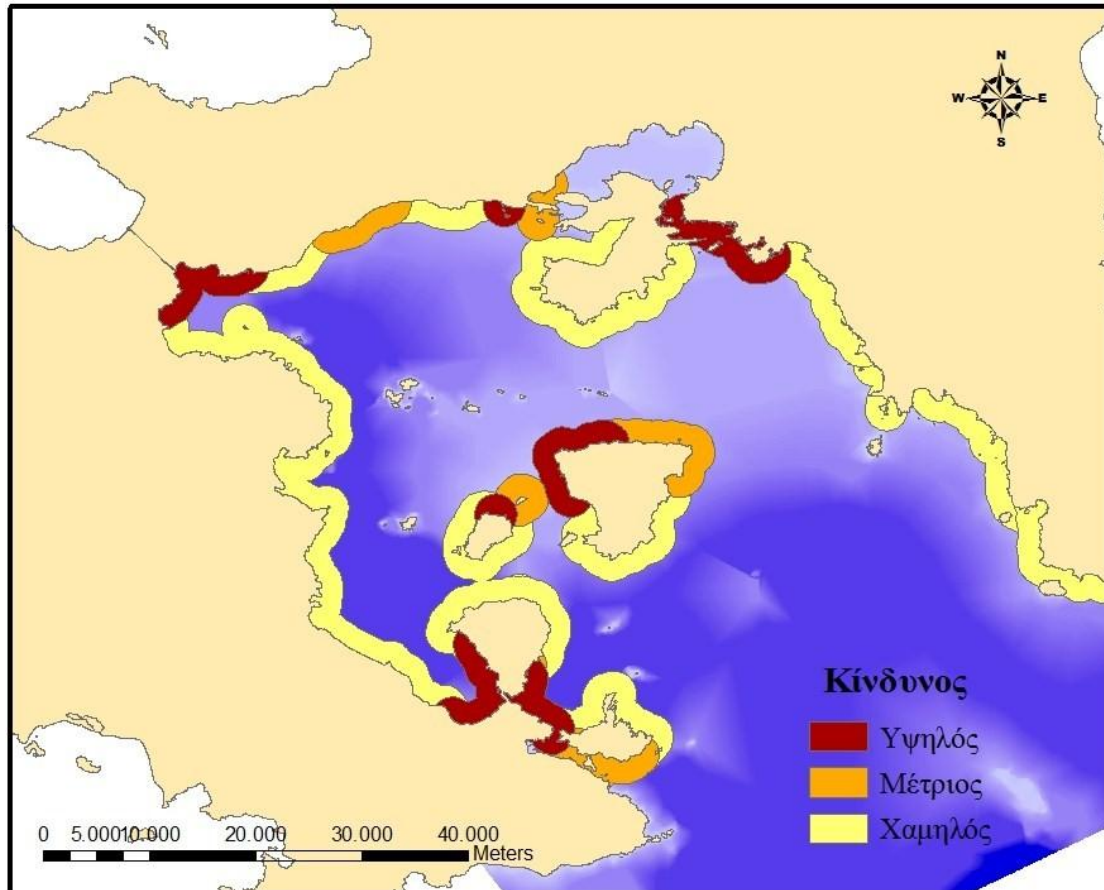
Είναι προφανές πως τα ρηχά νερά είναι πιο επιρρεπή και ευαίσθητα στα ατυχήματα από ότι τα βαθύτερα. Ο Χάρτης 9.6 παρουσιάζει τη βαθυμετρία του Σαρωνικού κόλπου.



Χάρτης 9.6 Βαθυμετρία Σαρωνικού Κόλπου (στοιχεία από τον καθηγητή Ε.Μ.Π. κ. Λ. Τσούλο, προσωπική επεξεργασία στο Gis)

9.3.1.1. Χάρτης κινδύνου

Ο συνδυασμός των παραπάνω στοιχείων μας δίνει μετά από κατάλληλη επεξεργασία με εργαλεία του Spatial Analyst στο GIS και την εντολή Buffer Wizard για απόσταση 2,5 km από τις ακτές (για λόγους συγκρισιμότητας με την 1^η μεθοδολογία) τον παρακάτω χάρτη κινδύνου (Χάρτης 9.7):



Χάρτης 9.7 Τελικός χάρτης κινδύνου

Ως περιοχές υψηλού κινδύνου χαρακτηρίζονται οι εξής: Το λιμάνι του Πειραιά μέχρι το στενό της Σαλαμίνας, τα Ίσθμια, η νότια περιοχή της χερσονήσου των Μεθάνων μέχρι τον Πόρο και οι βορειοδυτικές ακτές της Αίγινας.

9.3.2 Υπολογισμός Τρωτότητας (*Vulnerability*)

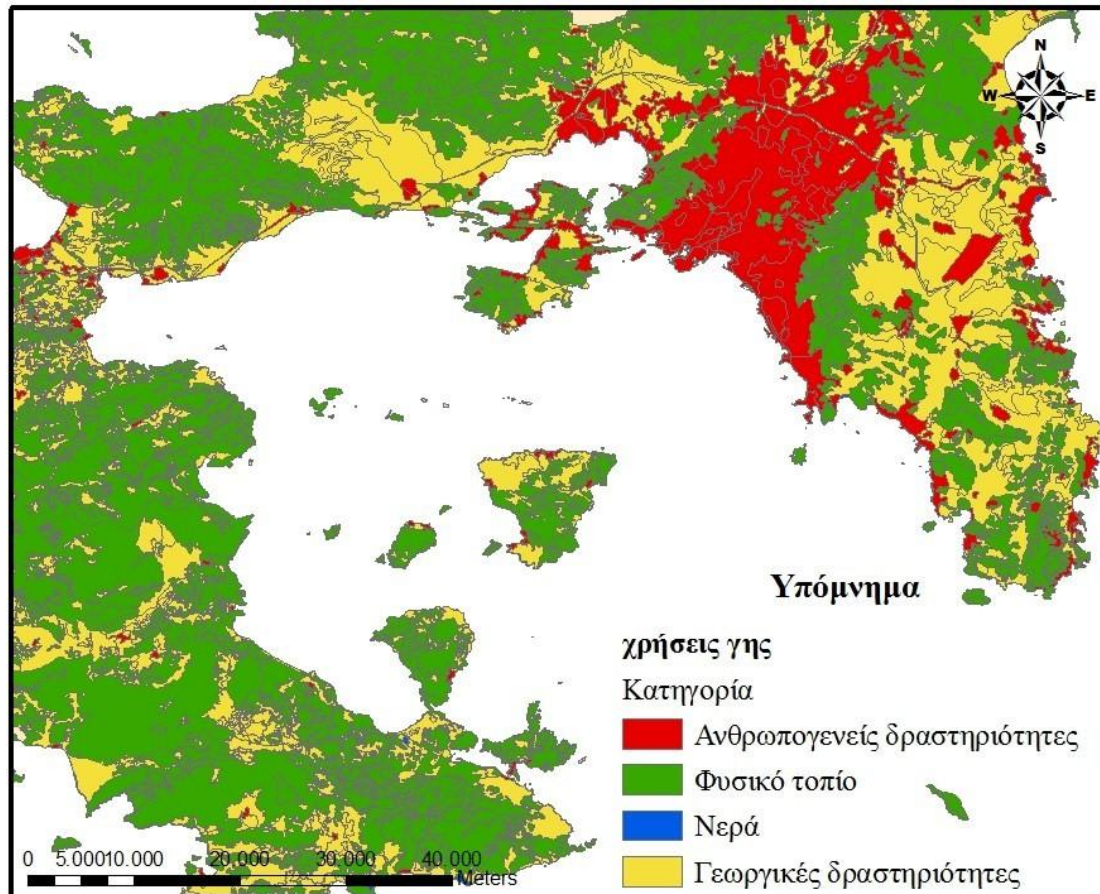
Όσον αφορά την τρωτότητα των ακτών της περιοχής μελέτης, υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψη τα εξής:

- τις χρήσεις γης
- τις παραλίες που έχουν χαρακτηριστεί με γαλάζια σημαία
- τις περιοχές αλιείας
- τις περιοχές που ανήκουν στο πρόγραμμα Natura
- τις περιοχές Corine και
- τα Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους.

Οι πληροφορίες για τα δύο πρώτα στοιχεία ελήφθησαν από τα «Δημόσια, Ανοιχτά Δεδομένα» (geodata.gov.gr/maps), για την αλιεία από την ιστοσελίδα του National Center for Ecological Analysis and Synthesis (nceas.ucsb.edu/globalmarine/impacts) και τα επόμενα από τη «Βάση Δεδομένων για την Ελληνική Φύση –Φιλότης» (filotis.itia.ntua.gr). Τα στοιχεία αυτά φαίνονται αναλυτικά στους χάρτες που ακολουθούν.

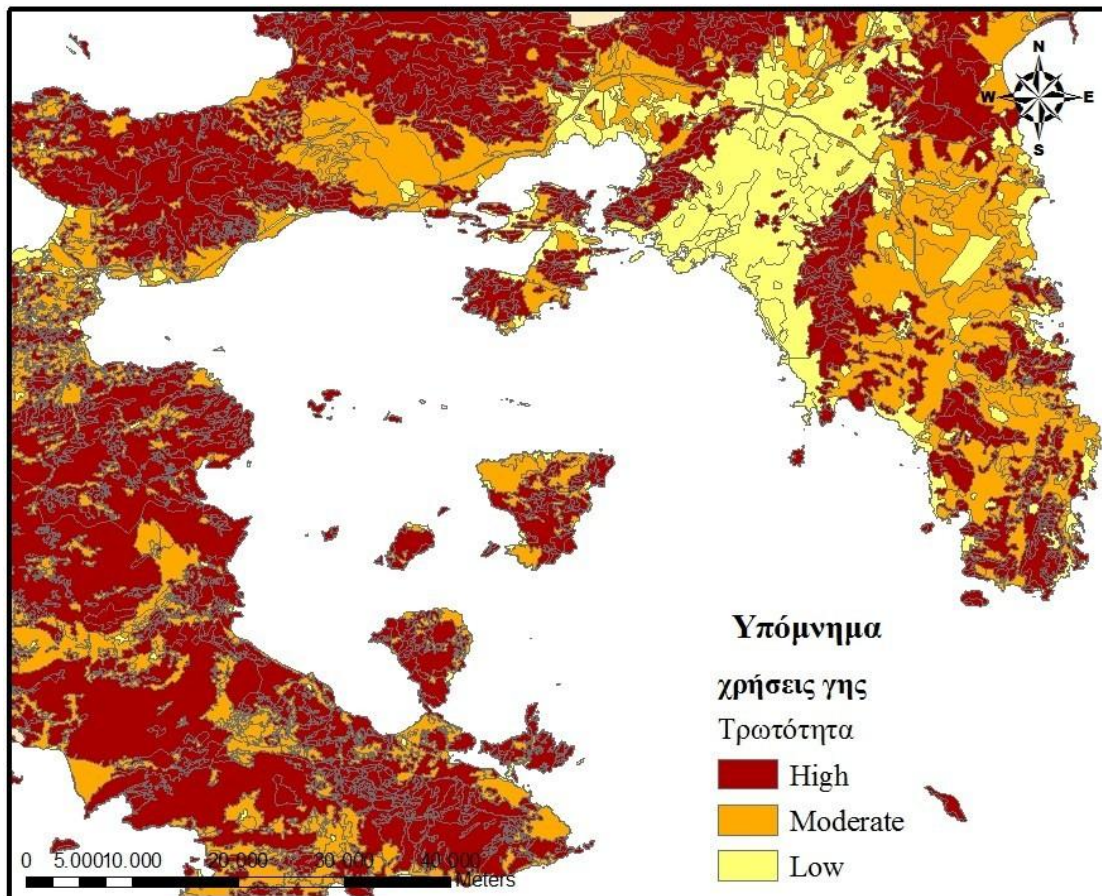
α.) Χρήσεις Γης

Οι χρήσεις γης κατηγοριοποιήθηκαν σε τέσσερις ευρύτερες κατηγορίες ώστε να είναι πιο εύκολος ο διαχωρισμός τους κατά την ανάγνωση της εργασίας: Ανθρωπογενείς Δραστηριότητες, Φυσικό Τοπίο, Νερά και Γεωργικές Δραστηριότητες.



Χάρτης 9.8 Χρήσεις Γης στην περιοχή του Σαρωνικού Κόλπου (πηγή στοιχείων: geodata.gov.gr/maps, προσωπική επεξεργασία στο Gis)

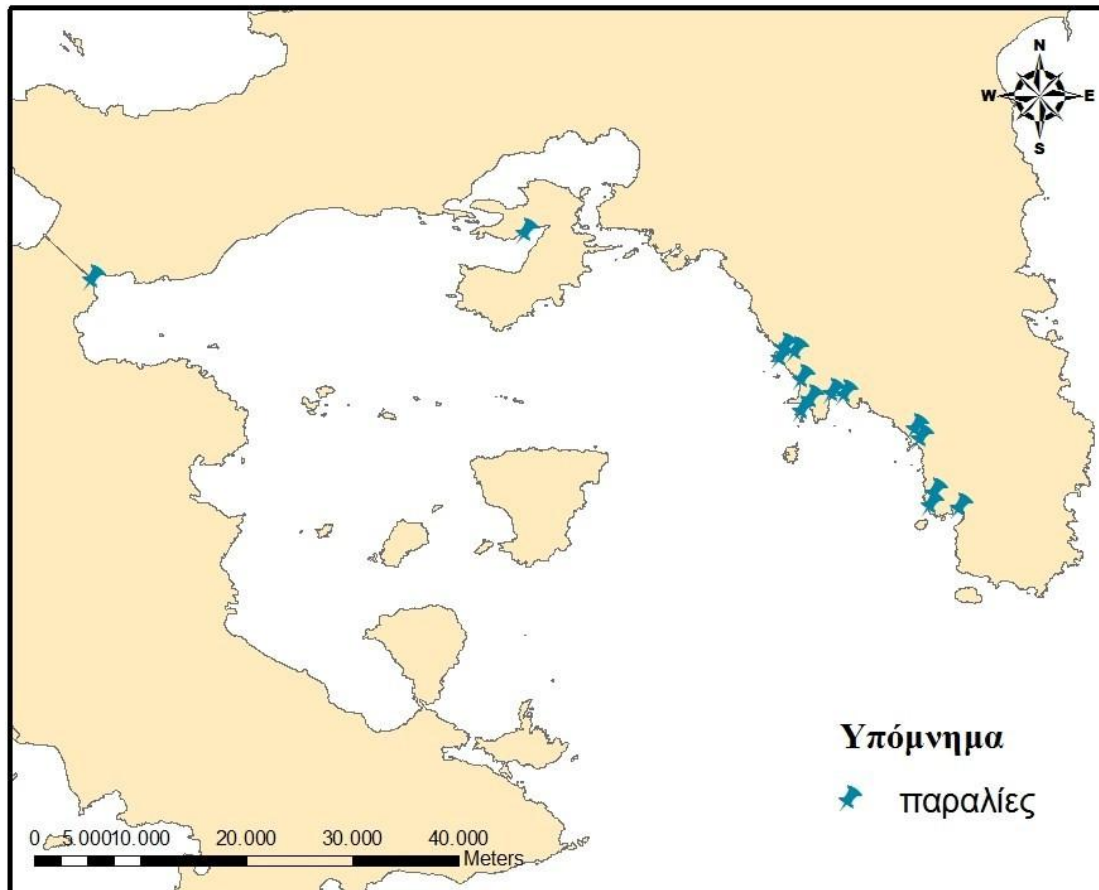
Στη συνέχεια, αξιολογήθηκαν οι χρήσεις γης ως προς τα επίπεδα τρωτότητας που εμφανίζουν και το αποτέλεσμα φαίνεται στον παρακάτω χάρτη:



Χάρτης 9.9 Χρήσεις γης στην περιοχή του Σαρωνικού Κόλπου ταξινομημένες ως προς την τρωτότητα που εμφανίζουν (προσωπική επεξεργασία στο Gis)

β.) Παραλίες με Γαλάζια Σημαία

Ο Σαρωνικός κόλπος έχει εκτός των άλλων και τουριστική αξία, με πολυάριθμες παραλίες κατά μήκος των ακτών του. Στο Χάρτη 9.10 έχουν σημειωθεί οι παραλίες που έχουν χαρακτηριστεί, σύμφωνα με τα Δημόσια, Ανοικτά Δεδομένα, με γαλάζια σημαία.



Χάρτης 9.10 Οι παραλίες του Σαρωνικού Κόλπου που έχουν χαρακτηριστεί με γαλάζια σημαία (πηγή στοιχείων: geodata.gov.gr/maps, προσωπική επεξεργασία στο Gis)

Οι παραλίες με γαλάζια σημαία χαρακτηρίστηκαν όλες, όπως ήταν λογικό, από υψηλό βαθμό ευαισθησίας έναντι ατυχήματος πετρελαιοκηλίδας. Επιδιώχθηκε και ο διαχωρισμός τους ως προς το είδος της κάθε παραλίας (βραχώδης, αμμώδης κλπ) αλλά όλες ανήκουν στην κατηγορία αμμώδεις.

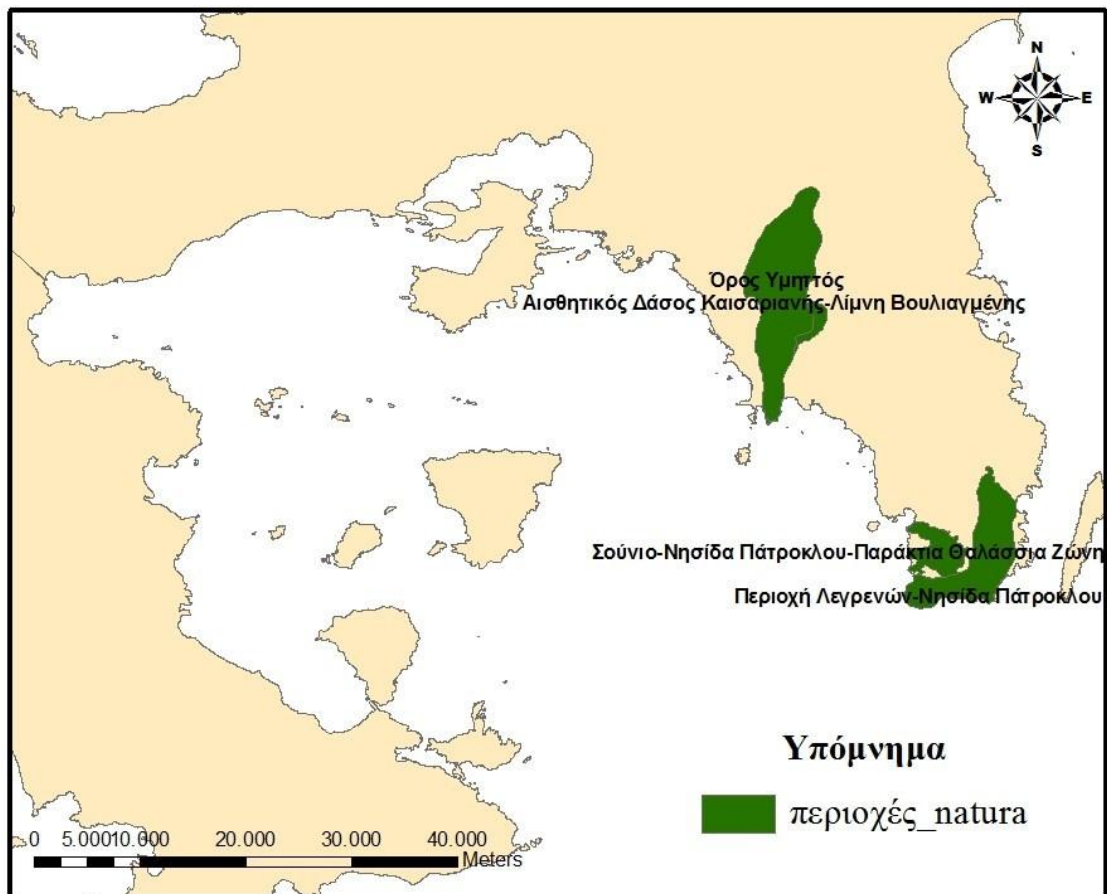
γ.). Αλιεία

Ο κλάδος της αλιείας είναι από τους πιο ζημιωμένους σε περίπτωση ατυχήματος πετρελαιοκηλίδας στην περιοχή του Σαρωνικού κόλπου. Στο Χάρτη 9.11 φαίνεται πως τα ποσοστά αλιείας είναι αρκετά υψηλά στην περιοχή.



Χάρτης 9.11 Επίπεδα αλιείας στην περιοχή του Σαρωνικού Κόλπου (σύμφωνα με στοιχεία του National Center for Ecological Analysis and Synthesis www.nceas.ucsb.edu/globalmarine/impacts)

δ.) Περιοχές Natura



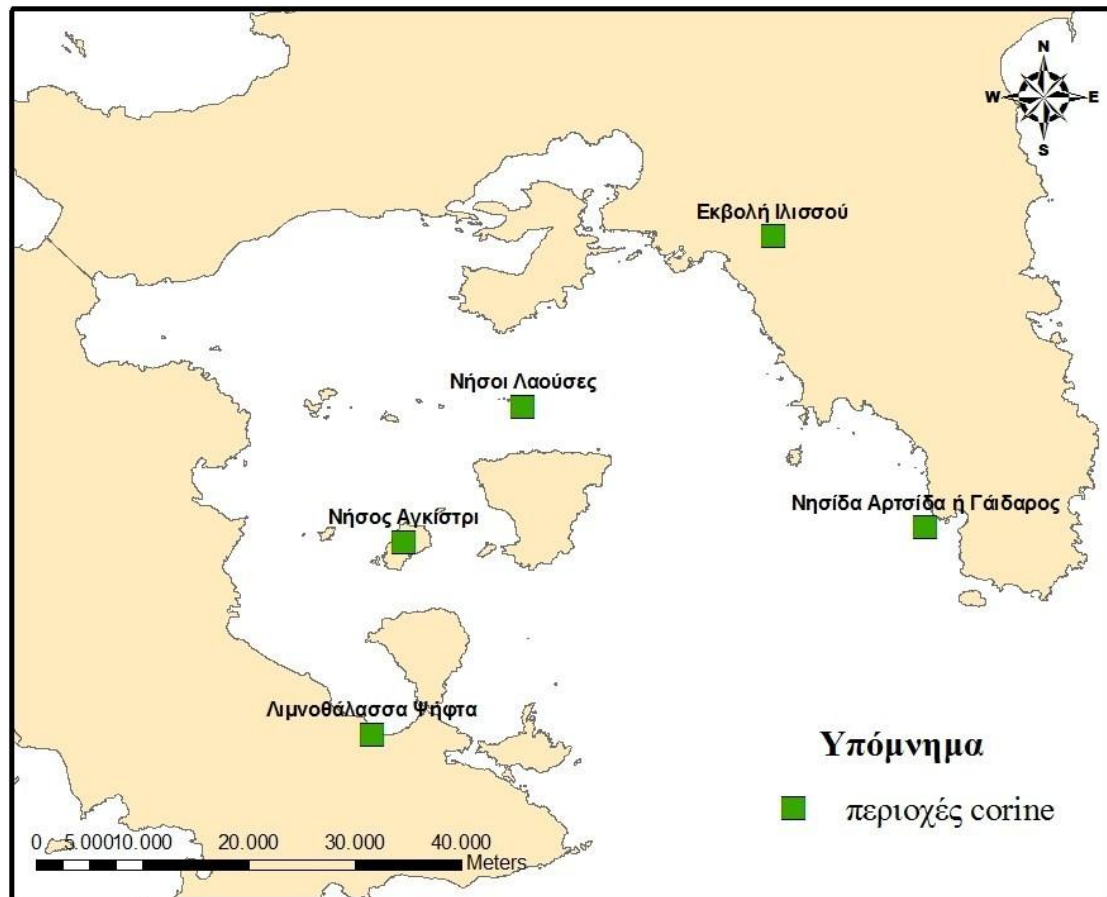
Χάρτης 9.12 Περιοχές Natura στην ευρύτερη περιοχή του Σαρωνικού Κόλπου (πηγή στοιχείων: filotis.itia.ntua.gr, προσωπική επεξεργασία στο Gis)

Οι περιοχές Natura κατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα με τον βαθμό ευαισθησίας που παρουσιάζουν έναντι ατυχήματος πετρελαιοκηλίδας, με βάση την απόσταση της περιοχής από την ακτή, με τον τρόπο που φαίνεται στον Πίνακα 9.4 που ακολουθεί:

Πίνακας 9.4 Τρωτότητα περιοχών Natura

Περιοχές Natura	Τρωτότητα
Όρος Υμηττός	Χαμηλή
Δάσος Καισαριανής-Λίμνη Βουλιαγμένης	Μέτρια
Περιοχή Λεγρενών	Υψηλή
Νησίδα Πάτροκλου-Σούνιο-Παράκτια Θαλάσσια Ζώνη	Υψηλή

ε). Βιότοποι Corine



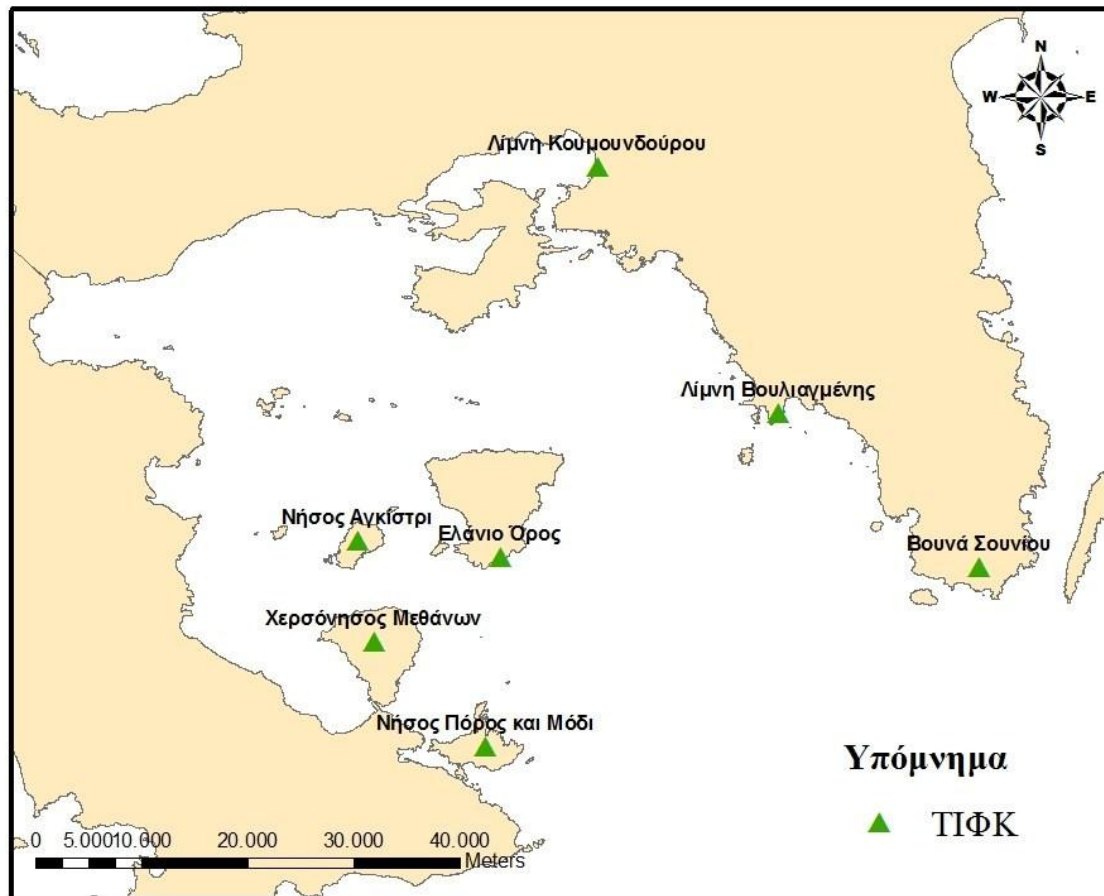
Χάρτης 9.13 Οι περιοχές Corine στην περιοχή του Σαρωνικού Κόλπου (πηγή στοιχείων: filotis.itia.ntua.gr, προσωπική επεξεργασία στο Gis)

Οι περιοχές Corine κατηγοριοποιήθηκαν με βάση την απόστασή τους από την ακτή ως εξής όπως φαίνεται στον Πίνακα 9.5:

Πίνακας 9.5 Τρωτότητα περιοχών Corine

Περιοχές Corine	Τρωτότητα
Λιμνοθάλασσα Ψήφτα	Υψηλή
Νήσος Αγκίστρι	Υψηλή
Νήσοι Λαούσες	Υψηλή
Εκβολή Ιλισσού	Υψηλή
Νησίδα Αρτσίδα ή Γάιδaros	Υψηλή

στ.) Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους



Χάρτης 9.14 Τα Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους στην περιοχή του Σαρωνικού Κόλπου (πηγή στοιχείων: filotis.itia.ntua.gr, προσωπική επεξεργασία στο Gis)

Τα Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους κατηγοριοποιήθηκαν σύμφωνα με την απόστασή τους από τις ακτές, όπως φαίνεται στον Πίνακα 9.6:

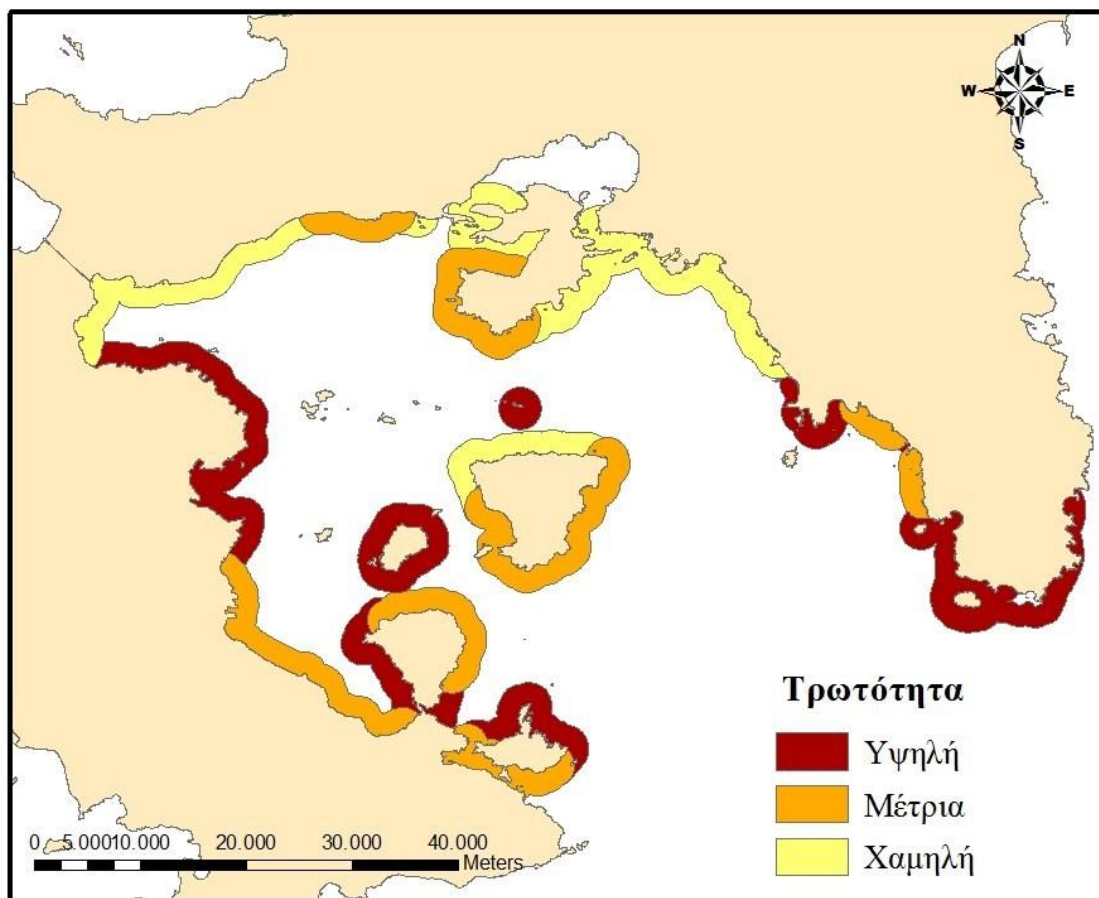
Πίνακας 9.6 Τρωτότητα Τοπίων Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους

ΤΙΦΚ	Τρωτότητα
Νήσος Πόρος και Μόδι	Υψηλή
Χερσόνησος Μεθάνων	Υψηλή
Νήσος Αγκίστρι	Υψηλή
Ελάσιο Όρος	Χαμηλή
Λίμνη Κουμουνδούρου	Υψηλή
Λίμνη Βουλιαγμένης	Υψηλή
Βουνά Σουνίου	Χαμηλή

Η ευαισθησία των περιοχών ελαττώνεται όσο αυτές απομακρύνονται από τις ακτές. Αυτό δικαιολογεί και τον χαρακτηρισμό από άποψη τρωτότητας των παραπάνω περιοχών.

9.3.2.1. Χάρτης Τρωτότητας

Συνδυάζοντας όλα τα παραπάνω δεδομένα, προκύπτει μετά από κατάλληλη επεξεργασία τους με τα εργαλεία του Spatial Analyst και το εργαλείο Buffer Wizard του GIS σε απόσταση 2,5 km (για λόγους συγκρισιμότητας με την 1^η μεθοδολογία) ο χάρτης τρωτότητας που ακολουθεί (Χάρτης 9.15):

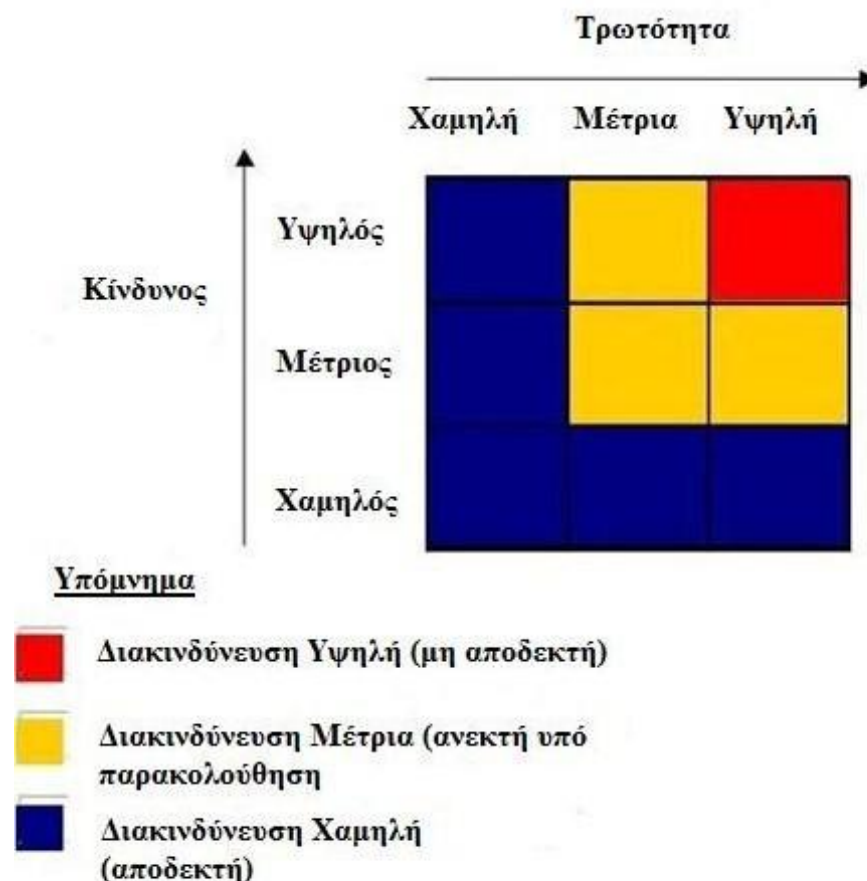


Χάρτης 9.15 Τελικός χάρτης τρωτότητας (vulnerability map)

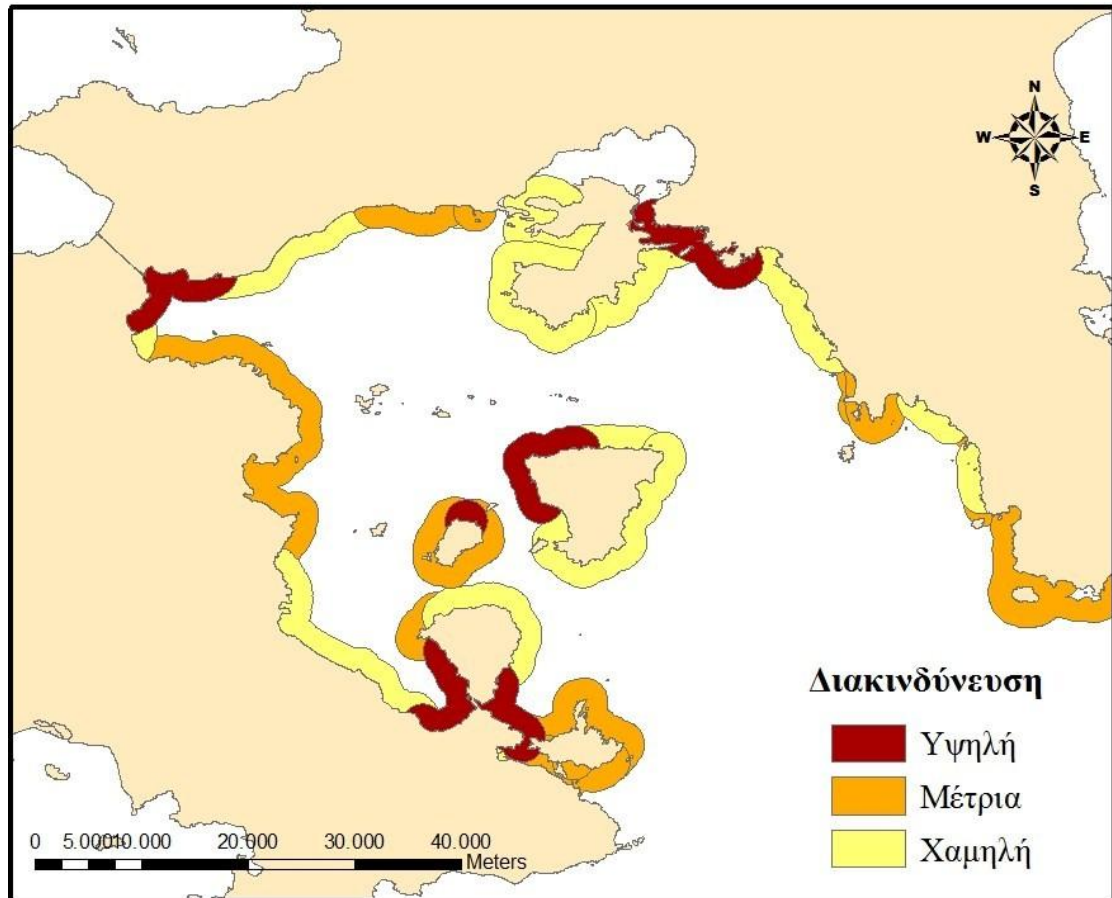
9.3.3 Υπολογισμός Διακινδύνευσης/Επικινδυνότητας (Risk)

Με βάση λοιπόν τους δύο παραπάνω τελικούς χάρτες (Χάρτης 9.7, Χάρτης 9.15) και τη χρήση ειδικών εργαλείων του Gis (spatial analyst, buffer wizard), προκύπτει ο παρακάτω χάρτης επικινδυνότητας (Χάρτης 9.16) με τη λογική που υποδεικνύει το Σχήμα 9.5. Οι A.Olita et al (2012) ακολουθούν την εξίσωση $Risk = hazard * vulnerability$ δίνοντας μεγαλύτερη βαρύτητα στο σημείο της απειλής απ' ό,τι στην τρωτότητα, καθώς σκοπός της μελέτης τους είναι πρώτον η συνεισφορά της προς τους αρμόδιους φορείς για τη βέλτιστη χρήση των πόρων με σκοπό την αποφυγή (εάν είναι δυνατό) του δυσάρεστου γεγονότος να φτάσει η πετρελαιοκηλίδα στην ακτή και δεύτερον η μετρίαση των αρνητικών επιπτώσεών της εάν τελικά συμβεί. Η ίδια τακτική ακολουθήθηκε και σε αυτήν την μελέτη.

Να σημειωθεί ότι για λόγους συγκρισιμότητας με την πρώτη μεθοδολογία, δεν λήφθηκαν υπόψη τα αποτελέσματα για τον κόλπο της Ελευσίνας (προς πληροφόρηση του αναγνώστη, η ίδια προέκυπτε επίσης περιοχή υψηλής διακινδύνευσης).



Σχήμα 9.5 Διάγραμμα κινδύνου-τρωτότητας που καθορίζει το βαθμό επικινδυνότητας (πηγή: « Oil spill risk assessment for the coastal Waters of Queensland and the Great Barrier Reef Marine Park»)



Χάρτης 9.16 Τελικός χάρτης διακινδύνευσης/επικινδυνότητας ατυχήματος πετρελαιοκηλίδας στο Σαρωνικό Κόλπο (risk map)

Σύμφωνα λοιπόν με την δεύτερη μεθοδολογία, οι πιο ευαίσθητες περιοχές απέναντι σε ένα πιθανό ατύχημα πετρελαιοκηλίδας είναι: Οι παράκτιες περιοχές κοντά στο λιμάνι του Πειραιά, τα Ίσθμια, οι βορειοδυτικές ακτές της Αίγινας και η νότια περιοχή της χερσονήσου των Μεθάνων μέχρι τον Πόρο.

10. Σύγκριση μεθοδολογιών

10.1 Ως προς τη διαδικασία

Είναι φανερό πως και οι δύο μεθοδολογίες έχουν το σημαντικό χαρακτηριστικό το πλαίσιο τους να μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα και σε άλλες περιοχές προσαρμόζοντας όσα στοιχεία της μεθοδολογίας πρέπει στις συνθήκες και τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε προς μελέτη περιοχής.

Η 1^η μεθοδολογία ακολουθεί την εξίσωση

$$\text{Risk} = \text{Probability} \times \text{Impact}$$

ή

$$\text{Διακινδύνευση} = \text{Πιθανότητα} \times \text{Επιπτώσεις}$$

ενώ η 2^η μεθοδολογία

$$\text{Risk} = \text{Hazard} \times \text{Vulnerability}$$

ή

$$\text{Διακινδύνευση} = \text{Κίνδυνος} \times \text{Τρωτότητα}$$

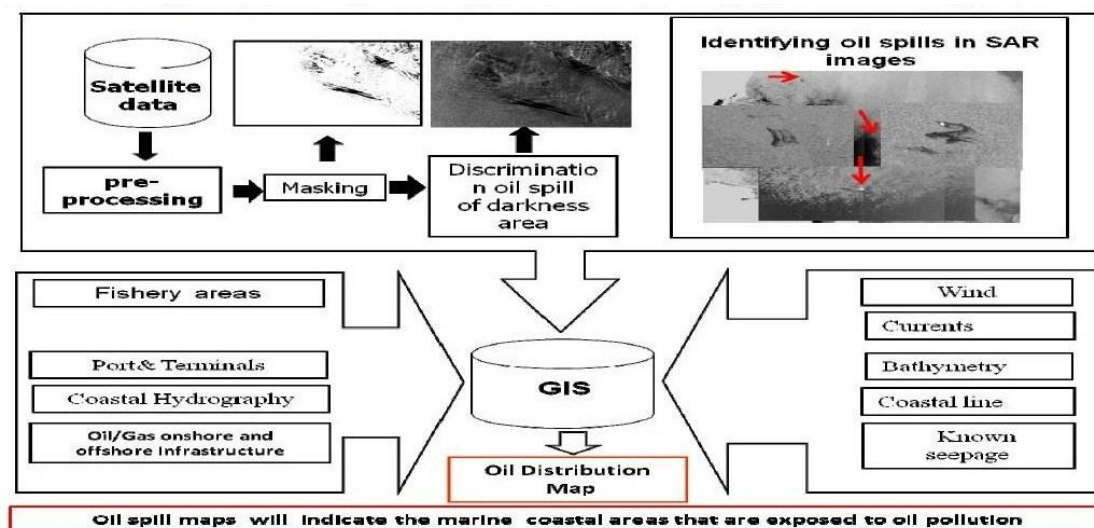
Η διαφορά στις έννοιες που αποτελούν την κάθε εξίσωση είναι ελάχιστη, αυτό που στην ουσία διαφέρει είναι τα στοιχεία που λαμβάνει υπόψη η κάθε μεθοδολογία για τον υπολογισμό των εννοιών αυτών και η βαρύτητα που δίνει σε καθένα από αυτά. Για παράδειγμα, η 2^η μεθοδολογία σε αντίθεση με την 1^η, δίνει μεγάλη βαρύτητα στα παλαιότερα ατυχήματα που έχουν σημειωθεί στην περιοχή και λαμβάνει υπόψη τη θέση τους στον υπολογισμό του κινδύνου. Επίσης, λαμβάνει υπόψη τις οδούς κυκλοφορίας των πλοίων σε όλο το εύρος του Σαρωνικού κόλπου και όχι μόνο την πυκνότητα των πλοίων κοντά στις παράκτιες περιοχές. Αντίθετα η 1^η μεθοδολογία υπολογίζει την πιθανότητα ενός ατυχήματος, με βάση, εκτός των άλλων, την πιθανότητα κάθε αιτίας πρόκλησης ενός ατυχήματος (σύγκρουση, δυναμική προσάραξη, έκρηξη κλπ). Δίνοντας ποσοστά πιθανότητας να συμβεί ατύχημα από κάθε μια από τις αιτίες ναυτικών ατυχημάτων, ανάλογα με ιστορικά στατιστικά δεδομένα ή τις γεωγραφικές ιδιαιτερότητες τις κάθε περιοχής, καταλήγει στον υπολογισμό της πιθανότητας του ατυχήματος, ενώ η 2^η μεθοδολογία δεν ξεχωρίζει την αιτία των ατυχημάτων.

Το GIS, σε αντίθεση με τη χρήση ενός δικτύου Bayesian, μπορεί να προσφέρει εύκολα μια πιο ολοκληρωμένη μελέτη μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης. Ειδικότερα όσον αφορά το αντικείμενο μελέτης της συγκεκριμένης εργασίας, με τα κατάλληλα δεδομένα, όπως για παράδειγμα τις ακριβείς θέσεις διυλιστηρίων, γεωτρήσεων, εξεδρών και του δικτύου αγωγών μεταφοράς πετρελαίου, είναι δυνατό να πάρει κανείς αποτελέσματα που αφορούν ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας και στην ξηρά και έτσι να έχει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για την επικινδυνότητα της περιοχής απέναντι στις πετρελαιοκηλίδες. Γενικότερα, προσφέρει το μεγάλο πλεονέκτημα πέρα από την εκτίμηση της διακινδύνευσης, να μπορεί να συμβάλει και στην αντιμετώπισή της σε περίπτωση που συμβεί ένα ατύχημα, μελετώντας και τη διαχείρισή της. Αναγνωρίζει περιοχές που κινδυνεύουν, τοποθετεί τις ίδιες σε

προτεραιότητα προστασίας και αναγνωρίζει τον κατάλληλο τρόπο ανταπόκρισης στην εκάστοτε περίπτωση ατυχήματος πετρελαιοκηλίδας, συμβάλλοντας στη λήψη απόφασης για την επιλογή του καταλληλότερου τρόπου από άποψη χρόνου, κόστους και διαθέσιμων μέσων για την αντιμετώπιση της πετρελαιοκηλίδας και την προστασία του περιβάλλοντος από αυτή.

Ακόμα, το Gis έχει τη δυνατότητα να συνδυαστεί με δορυφορικές εικόνες (GPS, SAR) και σε συνδυασμό έτσι με τις δυνατότητες της τηλεπισκόπησης να δώσει πολύτιμα αποτελέσματα και πληροφορίες. Ο συνδυασμός τους είναι ιδανικός για την ανίχνευση και την παρακολούθηση πετρελαιοκηλίδων, ενώ ο συνδυασμός του με το υδροδυναμικό μοντέλο και το μοντέλο πετρελαιοκηλίδας είναι ιδανικός για την κατανόηση της χωρικής-χρονικής συμπεριφοράς των πετρελαιοκηλίδων στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Κατά τους A.Eljabri και C.Gallagher για παράδειγμα, ο συνδυασμός των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και της τηλεπισκόπησης είναι ο πλέον αποτελεσματικός τρόπος για την παρακολούθηση και αντιμετώπιση των πετρελαιοκηλίδων. Συγκεκριμένα, ακολουθείται η μεθοδολογία που περιγράφεται στο Σχήμα 10.1:



Σχήμα 10.1 Συνοπτική Παρουσίαση μεθόδου (πηγή: A.Eljabri, C. Gallagher, *Developing Integrated Remote Sensing and GIS Procedures for Oil Spills Monitoring at Libyan Coast*, 2012)

Τέλος, το GIS υπερέχει στο γεγονός ότι καταφέρνει την ένωση όλων των διαθέσιμων δεδομένων σε ένα σύστημα (data incompatibility) ακόμα κι αν προέρχονται από διαφορετικούς φορείς και είναι διαφορετικές μορφές αρχείων ή αρχεία σε διαφορετικές συντεταγμένες. Αυτό είναι ένα στοιχείο που πέρα από την ευκολία που προσφέρει, μπορεί να εξοικονομήσει πολύτιμο χρόνο στους ειδικούς, ιδιαίτερα αν πρόκειται για τη στιγμή πραγματικού ατυχήματος που η άμεση ανταπόκριση είναι κρίσιμη σε τέτοιες καταστάσεις.

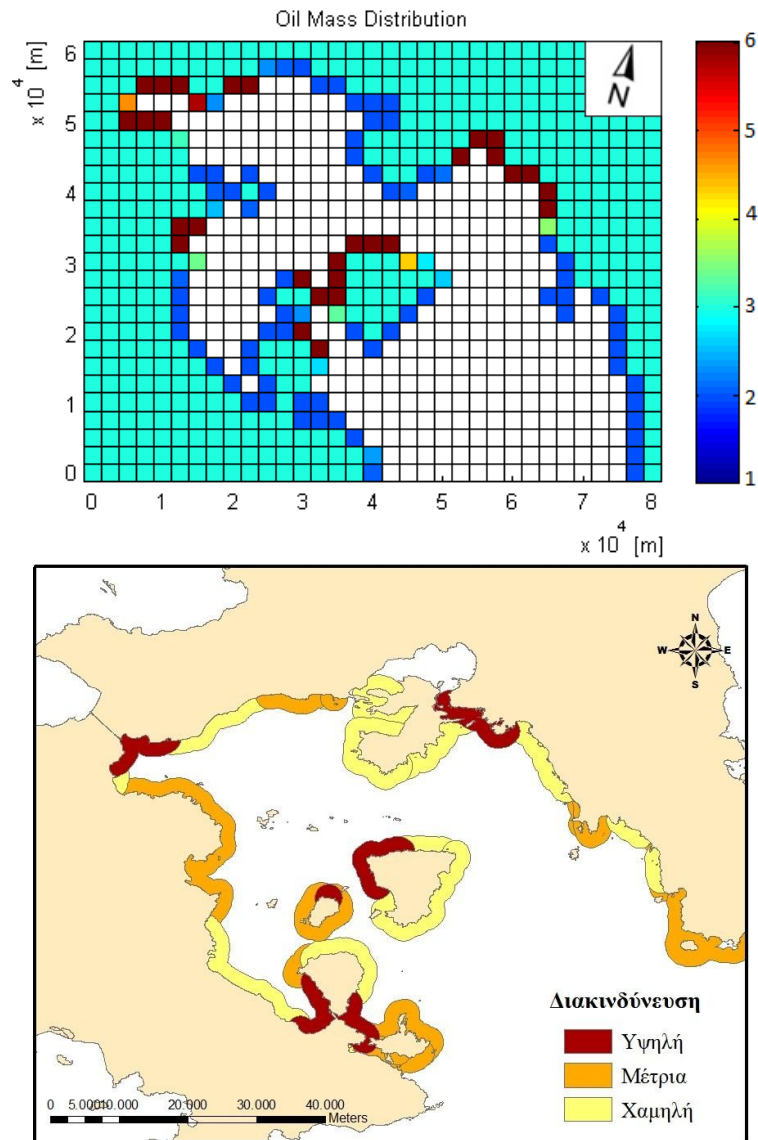
Αντίθετα η χρήση ενός μοντέλου βασισμένου στην Μπεϋζιανή θεωρία είναι πιο απαιτητική, χρονοβόρα και δαπανηρή. Οι υπολογισμοί και οι πιθανότητες

χρησιμοποιώντας τους κανόνες ενός δικτύου Bayesian μπορεί να καταστούν πολύπλοκοι και συχνά χαρακτηρίζονται από συνοπτική και ακριβή διατύπωση, επομένως πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε να υπολογιστούν σωστά, ενώ παρουσιάζει το μειονέκτημα να πρέπει να υπολογίζονται όλοι οι κλάδοι προκειμένου να υπολογιστεί η πιθανότητα ενός κλάδου. Η ποιότητα των αποτελεσμάτων επίσης εξαρτάται από προηγούμενες πεποιθήσεις ή μοντέλα. Μια μεταβλητή αποτελεί μόνο ένα μικρό μέρος του δικτύου, ενώ ολόκληρο το σύστημα εξαρτάται από αυτή, επομένως χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην εισαγωγή των δεδομένων για την αποφυγή σφάλματος.

Οφείλουμε όμως να παραδεχτούμε ότι γι' αυτό το λόγο ότι ένα μοντέλο βασισμένο στην Μπεϋζιανή θεωρία είναι πιο αναλυτικό και τα αποτελέσματά του πιο λεπτομερή και συγκεκριμένα. Καθώς ένα δίκτυο Bayesian αναπαριστά τις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών του συστήματος με συνδετικά τόξα είναι εύκολο να αναγνωριστεί η εξάρτηση ή η ανεξαρτησία μεταξύ των διαφόρων κόμβων και έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη γνώση αιτιωδών σχέσεων και μπορεί κανείς με αυτόν τον τρόπο να κατανοήσει ένα πρόβλημα και να προβλέψει τις συνέπειες μιας παρέμβασης. Καθώς επίσης το μοντέλο περιλαμβάνει τόσο την αιτιώδη όσο και την πιθανοτική σημασιολογία, αποτελεί ιδανική αναπαράσταση για το συνδυασμό προγενέστερης γνώσης και νέων δεδομένων. Τέλος το μοντέλο χειρίζεται εύκολα καταστάσεις όπου οι καταχωρήσεις κάποιων δεδομένων δεν είναι πλήρης.

10.2. Ως προς το αποτέλεσμα

Ως προς την ουσία των αποτελεσμάτων παρατηρούμε πως οι δύο μεθοδολογίες παρουσιάζουν μικρές αποκλίσεις. Και στις δύο εμφανίζονται ως περιοχές υψηλού κινδύνου η ευρύτερη περιοχή του λιμανιού του Πειραιά, η περιοχή γύρω από τα Ίσθμια και οι Βορειοδυτικές ακτές της Αίγινας. Η 2^η μεθοδολογία εμφανίζει μία επιπλέον περιοχή, αυτή των νότιων ακτών της χερσονήσου των Μεθάνων μέχρι τον Πόρο. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι στη 2^η μεθοδολογία έχουν ληφθεί υπόψη τα παλαιότερα ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας που έχουν σημειωθεί την τελευταία δεκαετία στην περιοχή αυτή και η θέση τους συντέλεσε στην παραγωγή του χάρτη διακινδύνευσης, κάτι που δεν συνέβη στην περίπτωση της 1^{ης} μεθοδολογίας. Αν παρατηρήσει κανείς τα περιστατικά της δεκαετίας 2003-2012 που σημειώθηκαν στον Σαρωνικό Κόλπο, θα διαπιστώσει ότι πρόκειται για 45 ατυχήματα όλα σε κοντινές συντεταγμένες. Προφανώς ένα τέτοιο στοιχείο δεν μπορεί να αγνοηθεί καθώς υποδηλώνει ότι η περιοχή είναι επιρρεπής στα ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας.



Εικόνα 10.1 Σύγκριση των τελικών χαρτών διακινδύνευσης των δύο μεθοδολογιών

Όσον αφορά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, στην περίπτωση του GIS ο μελετητής έχει την ευχέρεια να εμφανίσει τα αποτελέσματα κατά τη δική του κρίση με διάφορους τρόπους και γενικά οι χάρτες που προκύπτουν από το GIS είναι πιο ευανάγνωστοι και ευκρινείς για το ευρύ κοινό. Είναι δηλαδή ένα πρόγραμμα πιο εύχρηστο για το χρήστη και έχει αισθητικά καλύτερα αποτελέσματα για τον αναγνώστη.

11. Συμπεράσματα

Παρατηρώντας τις καταστροφικές συνέπειες που είχαν τα παλαιότερα ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας ανά τον κόσμο και λαμβάνοντας υπόψη την έντονη ναυτιλιακή κίνηση της χώρας μας και ιδιαίτερα του Σαρωνικού κόλπου, την περιβαλλοντική και τουριστική αξία των ακτών της Ελλάδας, είναι επιτακτική η ανάγκη για πρόβλεψη των περιοχών που είναι πιο επιρρεπείς ή ευαίσθητες στην διάχυση πετρελαίου, ώστε να ληφθούν μέτρα για την προστασία τους και να βρίσκονται σε ετοιμότητα οι αρμόδιες αρχές σε περίπτωση πραγματικού ατυχήματος.

Οι δύο προτεινόμενες μεθοδολογίες αναμένονται να βοηθήσουν τους ειδικούς και τις αρμόδιες αρχές να βελτιώσουν την ετοιμότητά τους απέναντι σ ένα πιθανό ατύχημα πετρελαιοκηλίδας. Από τα αποτελέσματα μιας εκτίμησης επικινδυνότητας επωφελούνται οι ειδικοί για την νομοθεσία περί τέτοιων ατυχημάτων, οι δημόσιες υπηρεσίες αρμόδιες για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος, καθώς και οι βιομηχανίες πετρελαίου, οι ασφαλιστικές εταιρείες και πλοιοκτήτριες εταιρείες, των οποίων τεράστια έξοδα είναι δυνατό να αποφευχθούν.

Ως πιο επικίνδυνες θέσεις για πιθανά ατυχήματα προκύπτουν και από τις δύο μεθοδολογίες η περιοχή του Πειραιά, οι βορειοδυτικές ακτές της Αίγινας και οι περιοχές γύρω από τα Ίσθμια, ενώ η 2^η μεθοδολογία προσθέτει και την νότια περιοχή της χερσονήσου των Μεθάνων. Επομένως σ αυτές κυρίως τις περιοχές πρέπει οι αρμόδιες αρχές να επιστήσουν την προσοχή τους και να λάβουν τα κατάλληλα μέτρα προστασίας ώστε να αποφευχθεί ένα πιθανό ατύχημα στο μέλλον ή να αντιμετωπιστεί έγκαιρα και καταλλήλως εάν αυτό τελικά συμβεί.

Επίσης είναι γεγονός ότι η απορρύπανση από το πετρέλαιο είναι πάρα πολύ δαπανηρή. Αποτελεσματικές ενέργειες απαιτούν προσεκτικό σχεδιασμό και συνεχή έλεγχο και εκτίμηση, καθώς και μεγάλο αριθμό εκπαιδευμένου προσωπικού και αποτελεσματικού εξοπλισμού. Το κόστος είναι σε πολλές περιπτώσεις ακόμα μεγαλύτερο, από τις καταστροφές που προκύπτουν λόγω εφαρμογής κακών επιχειρήσεων καθαρισμού ή από πετρελαιοκηλίδες που πλήττουν ευαίσθητες περιοχές. Το κλειδί για τον έλεγχο και περιορισμό του κόστους είναι η μείωση των καταστροφών που προκύπτουν στο περιβάλλον και περιουσίες. Η καλύτερη στρατηγική στη μείωση των καταστροφών αυτών είναι η αφαίρεση όσο το δυνατό περισσότερου πετρελαίου από το περιβάλλον και η παρεμπόδιση του πετρελαίου να πλήξει τις ακτές και άλλες ευαίσθητες περιοχές. Ο μόνος τρόπος για μια αποτελεσματική επιχείρηση απορρύπανσης είναι η ταχύτατη δραστηριοποίηση, κάτι που είναι δυνατό μόνο αν έχουν προηγηθεί μελέτες για την ανάλυση της επικινδυνότητας ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας.

Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι κάθε μία από τις παραπάνω μεθόδους είναι αποτελεσματική, όταν χρησιμοποιηθεί στην κατάλληλη περίπτωση. Δηλαδή, εξαρτάται από το ποιος κάνει τη μελέτη, τι μέσα (οικονομικά και μη) και δεδομένα διαθέτει, τι χρόνο και φυσικά σε πόσο βάθος θέλει να ερευνήσει την περίπτωση της πετρελαιοκηλίδας.

11.1 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Αναγνωρίζοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μιας πετρελαιοκηλίδας αλλά και την σημασία της πρόληψης έναντι της θεραπείας, κρίνεται αναγκαίο να μελετηθούν αναλόγως και άλλες περιοχές της χώρας μας, με προτεραιότητα ίσως, λόγω ναυτιλιακής κυρίως κίνησης, τον Θερμαϊκό Κόλπο, προσαρμόζοντας τα στοιχεία της μεθοδολογίας στις συνθήκες και στα χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής μελέτης.

Η χρησιμοποίηση επίσης δεδομένων διαφορετικών μοντέλων τόσο υδροδυναμικού όσο και πετρελαιοκηλίδας (πχ Medslik ή Simap), θα ήταν μια ενδιαφέρουσα μελέτη ως προς τη σύγκριση των αποτελεσμάτων που θα προέκυπταν τελικά από την εκτίμηση της επικινδυνότητας με τη χρήση εκείνων των μοντέλων και αυτών που περιγράφονται στην παρούσα εργασία.

Τέλος, οι μεθοδολογίες που παρουσιάστηκαν και εφαρμόστηκαν στο Σαρωνικό κόλπο τονίζουν την ανάγκη για την ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης για τον προσδιορισμό των παράκτιων περιοχών που είναι πιο επιρρεπείς σε διαρροές πετρελαίου. Επομένως θα ήταν εξαιρετικά χρήσιμο, εάν την μελέτη εκτίμηση της επικινδυνότητας που παρουσιάζεται εδώ, ακολουθούσε μια μελέτη διαχείρισης της επικινδυνότητας για τις περιοχές του Σαρωνικού κόλπου που αποδείχτηκε πως κινδυνεύουν. Τότε η μελέτη ανάλυσης της επικινδυνότητας ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας θα ήταν ολοκληρωμένη και ιδιαίτερα πολύτιμη για τις αρμόδιες αρχές.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Διεθνείς

- Aukett L., 2012, *The Use Of Geographical Information Systems (GIS) In Oil Spill Preparedness And Response*, SPE/APPEA International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production
- Blaikie et al., 2004, *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*, Routledge, London
- Cova T. J., 1999, *GIS in emergency management*, Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Applications, and Management, P.A. Longley, M.F. Goodchild, D.J. Maguire, D.W. Rhind (eds.), John Wiley & Sons, New York, p. 845-858
- Dalziell and McManus, 2004, Resilience, vulnerability and adaptive capacity: Implications for system performance, International Forum for Engineering Decision Making (IFED)
- Eljabri A., Gallagher C., 2012, *Developing Integrated Remote Sensing and GIS Procedures for Oil Spills Monitoring at Libyan Coast*, Glasgow Caledonian University, 2nd International Conference on Environment and Bioscience
- United States Environmental Protection Agency, 1999, *Preparing For Oil Spills-Contingency Planning*, EPA Office of Emergency and Remedial Response,
- Faltn F. & Kenett R., 2007, *Bayesian Networks*, Encyclopedia of Statistics in Quality & Reliability,
- Guo et al., 2009, *A numerical oil spill model based on a hybrid method*, Marine Pollution Bulletin 58, (p.726-734)
- Godschalk D. R., 1991, *Disaster mitigation and hazard management*, In Drabek T E, Hoetmer G J (eds) Emergency management: principles and practice for local government, Washington DC, International City Management Association, 60-131
- Heckerman D., 1995, *A Tutorial on Learning with Bayesian Networks*, Microsoft Research,
- Ivanov A., Zatyagalova V., 2008, *A Gis Approach to Mapping Oil Spills in the Marine Environment*, International Journal of Remote Sensing, Vol. 29, Issue 21, (p. 6297-6313)
- Jordi A. et al., 2006, *Scientific management of Mediterranean coastal zone: A hybrid ocean forecasting system for oil spill and search and rescue operations*, Marine Pollution Bulletin 53 (p.361-368),
- Johnson R., 2000, *GIS Technology for Disasters and Emergency Management*, Environmental Systems Research Institute (ESRI)
- Jung et al., 2013, *Risk assessment and national measure plan for oil and HNS spill accidents near Korea*, Marine Pollution Bulletin

- Lamine et al., 2013, *Guinean environmental impact potential risks assessment of oil spills simulation*, Ocean Engineering 66 (p. 44-57)
- Lehr W.J. et al., 1984, Empirical studies of the spreading of oil spills, *Oil and Petrochemical Pollution*, 7-11
- Mackay D., 1980, *Oil spill processes and models*, Environmental Protection Service, Canada
- Olita A. et al., 2012, *Oil spill hazard and risk assessment for the shorelines of a Mediterranean coastal archipelago*, Ocean & Coastal Management 57 (p.44-52)
- Osamn H., 2013, *Remote Sensing & GIS Based Approach for Oil Spill Detection and Monitoring*, King Fahd University of Petroleum and Minerals
- Otay et al., 2013, *Risk Assessment of Oil Spill Accidents, Part 2: Application to Saronikos Gulf and Izmir Bay*, CEST 2013 Athens
- Queensland Government, 2000, *Oil spill risk assessment for the coastal Waters of Queensland and the Great Barrier Reef Marine Park*, jointly prepared by Queensland Transport and the Great Barrier Reef Marine Park Authority
- Rankin et al., 2000, *Environmental Risk Assessment: An approach for assessing and reporting environmental conditions*, Habitat Branch Technical Bulletin 1, Ministry of Environment, Lands & Parks
- Santos et al., 2013, *Marine spatial planning and oil spill risk analysis: Finding common grounds*, Marine Pollution Bulletin 74 (73-81)
- Soares C.Guedes, Teixeira A.P., 2001, *Risk assessment in maritime transportation*, Reliability Engineering and System Safety 74 (299-309)
- Stamou et al., 2013, *Risk Assessment of Oil Spill Accidents, Part 1: Presentation of the Methodology*, CEST 2013 Athens
- Udoh J.C. and Ekanem E.M., 2011, *Gis based risk assessment of oil spill in the coastal areas of Akwa Ibom State, Nigeria*, Department of Geography and Regional Planning, University of Uyo, Nigeria, African Journal of Environmental Science and Technology Vol 5(3), p205-211
- Uluscu et al., 2008, *Risk Analysis of Transit Vessel Traffic in the Strait of Istanbul*

Ελληνικές

- Αλεξόπουλος Α., 2009, καθηγητής του Τμήματος Ναυτιλιακών Σπουδών, *Διεθνές Θαλάσσιο Περιβαλλοντικό Δίκαιο*, πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πανεπιστήμιο Πειραιώς
- Διαμάντη Κατερίνα, 2010, *Θαλάσσιες μεταφορές και Θαλάσσια Ρύπανση στη Μεσόγειο*, Διπλωματική Εργασία στο Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς

- Θεουλάκης Κ., 2010, *Δημιουργία Χαρτών Κινδύνου Πλημμύρας και Χαρτών Διακινδύνευσης Πλημμύρας, βάσει της οδηγίας της Ε.Ε. 2007/60 για τα ύδατα*, Μεταπτυχιακή Εργασία ΕΜΠ
- Κορρός Κων/νος, 2008, *Μοντέλο Τύχης/Γήρανσης Κηλίδων Πετρελαίου*, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ
- Παπαδονικολάκη Γ., 2013, *Μαθηματική Προσομοίωση της Συμπεριφοράς Πετρελαιοκηλίδων*, Μεταπτυχιακή Εργασία του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», ΕΜΠ
- Σαμπατάκης Ηλίας, Πλοίαρχος Λ.Σ. , 2010, *Αντιμετώπιση Ατυχηματικής Ρύπανσης από Πλοία*, Παρουσίαση στη Δημερίδα του ΤΕΕ Μάιος 2010, Υπουργείο Προστασίας του Πολίτη, Λιμενικό Σώμα, Διεύθυνση Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος
- Σταυρίδης Γ. , 2007, *Πετρελαϊκή Ρύπανση από Ατυχήματα Δ/Ε στον ελληνικό θαλάσσιο χώρο*, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ
- Τριανταφύλλου Γ., 2004, Καθηγητής ΕΜΠ, *Πετρελαιοκηλίδες*, Περιβάλλον και ανάπτυξη, πανεπιστημιακές σημειώσεις, Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα
- Τσακίρης Γ., 2007, *Συστημική προσέγγιση στην Ανάλυση των Φυσικών Κινδύνων και Καταστροφών*, πανεπιστημιακές σημειώσεις, Κέντρο Εκτίμησης Φυσικών Κινδύνων και Προληπτικού Σχεδιασμού, ΕΜΠ
- Τσακίρης Π., 2009, *Εκτίμηση οικονομικών ζημιών από πλημμύρες. Μελέτη περίπτωσης: Διευθέτηση ρέματος Ραφήνας*, Μεταπτυχιακή Εργασία του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Περιβάλλον και Ανάπτυξη», ΕΜΠ

Διαδικτυακές αναφορές (τελευταία πρόσβαση Απρίλιος 2014)

www.filotis.itia.ntua.gr («Βάση Δεδομένων για την Ελληνική Φύση –Φιλότης»)

www.geodata.gov.gr/maps («Δημόσια, Ανοιχτά Δεδομένα»)

www.greenpeace.org

<http://www.et.gr> (Εφημερίδα της Κυβερνήσεως)

mykonoszoo.blogspot.gr/2014/03/mv-yusuf-cepnioглу.html

atheatignosi.blogspot.gr/2012/05/bp-2.html

www.sintef.no/home/Materials-and-Chemistry/Marine-Environmental-Technology/Environmental-modelling/Numerical-models/

www.Belspo.be/belspo/SSD/science/Reports/OSERIT_FinRep_AD.pdf

bbc.co.uk/news

<http://www.yen.gr/wide/home.html>

<http://www.nceas.ucsb.edu/> (National Center of Ecological Analysis and Synthesis, NCEAS)

www.oceanography.ucy.ac.cy/cycofos/medslik-act.html

[www.mohid.com /Prestige/Oil_Spills_in_MOHID.htm](http://www.mohid.com/Prestige/Oil_Spills_in_MOHID.htm)

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

<http://edepot.wur.nl/174587>

<http://thepaper.gr/sea-diamond>)

<http://www.asascience.com/software/simap/>

en.ria.ru/infographics/20100505/158885245.html

gtoil.blogspot.gr/2011_07_01_archive.html

ngm.nationalgeographic.com

guecoaction.blogspot.gr/2010/06/.html