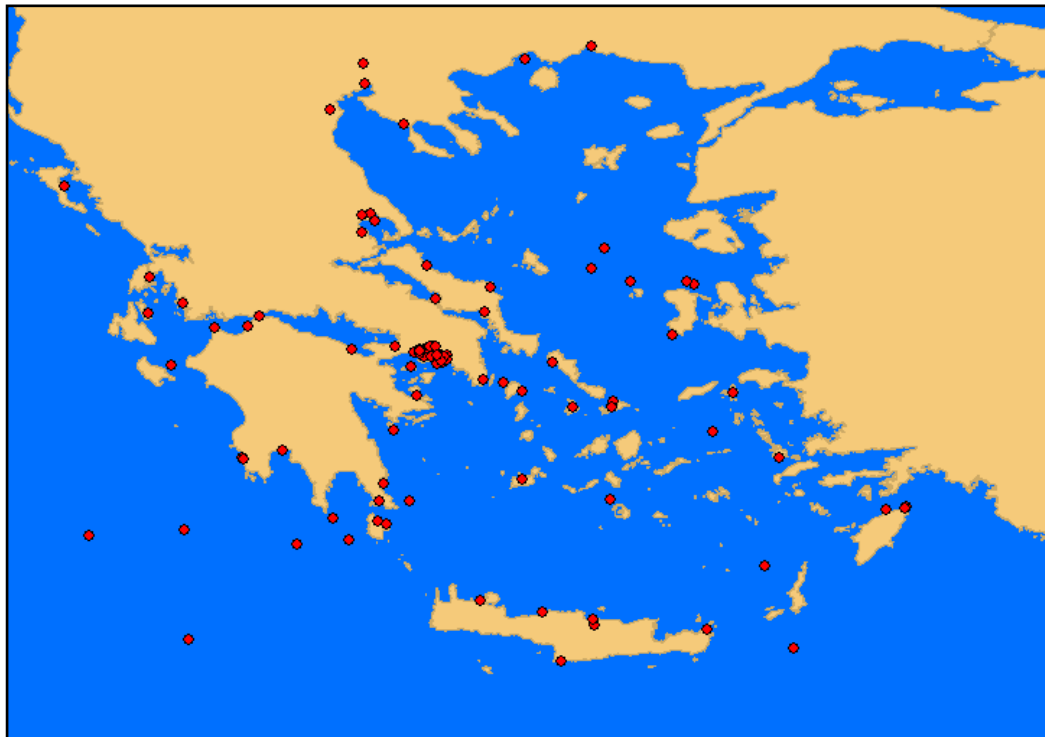




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**ΝΑΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗ**

**«ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS)  
ΣΤΗΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΚΑΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΩΝ ΑΠΟ  
ΝΑΥΤΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ»**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**ΕΥΘΥΜΙΟΣ Κ. ΚΟΥΚΑΚΗΣ**

**Επιβλέπων Καθηγητής : Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ Νικόλαος Π. Βεντικός**

Αθήνα, Ιούνιος 2016





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΝΑΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗ

«ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS) ΣΤΗΝ  
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΚΑΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΩΝ ΑΠΟ ΝΑΥΤΙΚΑ  
ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ»

**Επιμέλεια:** Κουκάκης Ευθύμιος  
**Επιβλέπων:** Νικόλαος Π. Βεντικός  
Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

**Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή**

..... .....	..... .....	..... .....
Δ. Αργιαλάς Καθηγητής ΕΜΠ	Ν. Βεντικός Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ	Σ. Σοφιανός Επικ. Καθηγητής ΕΚΠΑ

Αθήνα, Ιούλιος 2016

.....

Ευθύμιος Κουκάκης

Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός ΕΜΠ

Copyright © Ευθύμιος Κουκάκης, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ανατέθηκε από τη Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στο πλαίσιο του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Ναυτική Και Θαλάσσια Επιστήμη Και Τεχνολογία». Σκοπός της είναι η εστίαση σε ατυχήματα πλοίων που συνέβησαν στον Ελλαδικό χώρο και είχαν ως συνέπεια τη ρύπανση του θαλάσσιου χώρου μέσα από τη δημιουργία πετρελαιοκηλίδων. Η απεικόνιση σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) και η ανάλυση και μοντελοποίηση των ατυχημάτων αυτών εκτιμάται ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόληψη αλλά και την αντιμετώπιση των περιστατικών ρύπανσης από τέτοιου είδους ατυχήματα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επικ. Καθηγητή κ. Βεντίκο Νικόλαο για την επίβλεψη της παρούσας εργασίας αλλά και για το συνεχές ενδιαφέρον του και την υποστήριξη του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της. Επίσης θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, κ. Αργιαλά Δημήτριο, Καθηγητή ΕΜΠ και κ. Σοφιανό Σαράντη, Επικ. Καθηγητή ΕΚΠΑ, για την ανάγνωση της διπλωματικής μου εργασίας και τις εύστοχες παρατηρήσεις τους.

## Περίληψη

Η Ελλάδα διαθέτει περίπου 16000 χλμ ακτογραμμής ενώ η έκταση των ελληνικών θαλασσών υπερτερεί της έκτασης της ηπειρωτικής χώρας. Σχεδόν το 70% του ελληνικού πληθυσμού κατοικεί στην παράκτια ζώνη και πλήθος δραστηριοτήτων και χρήσεων συγκεντρώνεται σε αυτή (κατοικία, αναψυχή και τουρισμός, βιομηχανία, εμπόριο, αλιεία και υδατοκαλλιέργειες, γεωργία, θαλάσσιες μεταφορές κλπ.). Οπότε, γίνεται προφανές πως κάθε περιστατικό ρύπανσης του ελληνικού θαλάσσιου χώρου έχει αρνητικές επιπτώσεις, όχι μόνο στο περιβάλλον, αλλά και σε όλους τους υπόλοιπους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, αναλόγως με τον τρόπο που αυτοί συνδέονται με το θαλάσσιο περιβάλλον. Ένας παράγοντας θαλάσσιας ρύπανσης είναι η δημιουργία πετρελαιοκηλίδων από ναυτικά ατυχήματα. Σημαντική είναι λοιπόν η χρησιμότητα μεθόδων και εργαλείων που συμβάλλουν στην παρακολούθηση, μελέτη, πρόληψη και αντιμετώπιση αυτού του τύπου ρύπανσης.

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στα ναυτικά ατυχήματα που συνέβησαν στον Ελλαδικό χώρο και είχαν ως συνέπεια τη ρύπανση της θάλασσας μέσα από τη δημιουργία πετρελαιοκηλίδων. Η απεικόνιση και στατιστική ανάλυση/μοντελοποίηση των ατυχημάτων αυτών γίνεται μέσω του λογισμικού ArcMap, το οποίο είναι ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) ικανό να ενσωματώσει, αποθηκεύσει, προσαρμόσει, αναλύσει και παρουσιάσει γεωγραφικά συσχετισμένες πληροφορίες. Την ανάλυση των ατυχημάτων ακολουθεί η παραγωγή χαρτών που απεικονίζουν περιοχές και τάσεις με αυξημένη επικινδυνότητα. Επιπλέον, παράγονται χάρτες δυναμικά μεταβαλλόμενοι με την κλίμακα του χρόνου με απώτερο στόχο την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων που μπορούν να συμβάλλουν στην επιτυχή αντιμετώπιση της ρύπανσης από πετρελαιοκηλίδες.

**Λέξεις κλειδιά :** Ναυτικά ατυχήματα, ρύπανση, πετρελαιοκηλίδες, ελληνικός θαλάσσιος χώρος, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ), χάρτης επικινδυνότητας

## **Abstract**

**Title: “Visualization and investigation of oil spills caused by nautical accidents in Greece through the application of Geographic Information Systems (GIS) ”**

Greece has approximately 16,000 km of coastline, while the area of the Greek seas outweighs the scale of the mainland. Almost 70% of the Greek population lives by or near the coastal zone while many activities and land use patterns are located there (housing, recreation and tourism, industry, trade, fisheries and aquaculture, agriculture, shipping, etc.). Thus, it becomes obvious that every maritime pollution incident has a negative impact not only on the environment but also in all other areas of human activity, depending on how they are connected with the marine environment. A marine pollution factor is oil spills due to shipping accidents. So, the use of methods and tools that help monitor, study, prevention and treatment of this type of pollution is very important.

This thesis focuses on maritime accidents in Greece that resulted in the pollution of the sea by creating oil spills. The visualization and the statistical analysis/modeling of these accidents is performed through ArcMap software, which is a Geographic Information System (GIS) capable to integrate, store, adapt, analyze and present geographically correlated information. The analysis of the accidents is followed by the production of maps depicting areas and trends with increased risk. Moreover, time lapse maps are generated with ultimate goal the formation of useful conclusions that can contribute to control oil spill pollution.

**Keywords: Marine accidents, pollution, oil spills, Greek Maritime Space, Geographical Information Systems (GIS), hazard map**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>1</b>
<b>1. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ-ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ</b> .....	<b>6</b>
1.1 Στοιχεία ρύπανσης και θαλάσσιων συγκοινωνιών .....	6
1.1.1 Ρύπανση .....	6
1.1.2 Ρύπανση από δραστηριότητες πλοίων .....	6
1.1.3 Ρύπανση από πετρελαιοκηλίδες .....	8
1.1.3.1 Διεργασίες που συμβαίνουν στην πετρελαιοκηλίδα στο θαλάσσιο περιβάλλον .....	9
1.1.3.2 Επιπτώσεις πετρελαιοκηλίδας .....	12
1.1.4 Σημαντικά θαλάσσια ατυχήματα σχετιζόμενα με διαρροή πετρελαίου .....	13
1.1.4.1 Exxon Valdez .....	13
1.1.4.2 Erika .....	15
1.1.4.3 Prestige .....	15
1.1.4.4 Sea Diamond .....	17
1.1.5 Νομοθεσία για αντιμετώπιση θαλάσσιας ρύπανσης .....	18
1.2 Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) .....	19
1.2.1 Εφαρμογές GIS .....	20
1.2.2 Το λογισμικό ArcMap .....	21
1.2.3 Η χρησιμότητα των ΓΣΠ στην απεικόνιση και διερεύνηση πετρελαιοκηλίδων από ναυτικά ατυχήματα .....	23
1.3 Προηγούμενες μελέτες σχετικές με διερεύνηση πετρελαιοκηλίδων .....	24
1.3.1 Spatial analysis of oil spills from marine accidents in Greek waters .....	24
1.3.2 Determinants of vessel accident bunker spills .....	25
1.3.3 Long term monitoring of oil spills in European .....	26
1.3.4 Visualization of spatial patterns and temporal trends for aerial surveillance of illegal oil discharges in western Canadian marine waters .....	26
1.3.5 Aerial Surveillance of Operational Oil Pollution in Belgium's Maritime Zone of Interest .....	27
1.3.6 Προσομοίωση τύχης πετρελαιοκηλίδας μετά από ναυτικό ατύχημα .....	27
1.3.7 Αιγαίο Μοντέλο τύχης-γήρανσης κηλίδων πετρελαίου .....	28
<b>2. ΣΤΟΧΟΙ ΕΡΓΑΣΙΑΣ – ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b> .....	<b>31</b>
2.1 Στόχοι εργασίας .....	31
2.2 Περιοχή μελέτης .....	31
2.3 Δεδομένα .....	33
<b>3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ</b> .....	<b>37</b>
3.1 Στατιστική ανάλυση .....	37
3.1.1 Ηλικία πλοίων σε ατυχήματα με διαρροή πετρελαίου .....	38
3.1.2 Τύποι πλοίων και είδη ατυχημάτων .....	40
3.1.2.1 Ατυχήματα ανά τύπο πλοίου .....	40



3.1.2.2 Περιστατικά ρύπανσης ανά είδος ατυχήματος.....	41
3.1.3 Ατυχήματα ανά έτος και ανά μήνα.....	44
3.1.3.1 Ατυχήματα ανά έτος.....	44
3.1.3.2 Ατυχήματα ανά μήνα.....	46
3.2 Χωρική Στατιστική ανάλυση.....	46
3.2.1 Ατυχήματα ανά ποσότητα διαρροής πετρελαίου.....	47
3.2.2 Ατυχήματα ανά τύπο πλοίου.....	49
3.2.3 Πυκνότητα ατυχημάτων.....	50
3.2.4 Μοντέλο δημιουργίας ευαίσθητων ζωνών.....	54
3.2.5 Μοντέλο προσδιορισμού πληγείσων ευαίσθητων περιοχών.....	58
3.2.6 Δυναμικά μεταβαλλόμενη απεικόνιση ατυχημάτων με την κλίμακα του χρόνου.....	63
<b>4. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>66</b>
4.1 Συμπεράσματα.....	66
4.2 Προοπτικές.....	69
<b>5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>71</b>

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

---

Εικόνα 1.1 : Διεργασίες γήρανσης πετρελαιοκηλίδας.....	11
Εικόνα 1.2 : Εργαζόμενοι στον καθαρισμό περιοχής, διαρροή Exxon Valdez.....	14
Εικόνα 1.3 : Θαλασσοπούλι καλυμμένο με πετρέλαιο.....	14
Εικόνα 1.4 : Δεξαμενόπλοιο Erika.....	15
Εικόνα 1.5 : Δεξαμενόπλοιο Prestige.....	16
Εικόνα 1.6 : Το κρουαζιερόπλοιο Sea Diamond.....	17
Εικόνα 2.1 : Δορυφορική απεικόνιση Μεσογείου θάλασσας.....	28
Εικόνα 2.2 : Ο ελληνικός θαλάσσιος χώρος.....	29
Εικόνα 3.1 : Πίνακας ιδιοτήτων στο ArcMap.....	43
Εικόνα 3.2 : Χωρική κατανομή ατυχημάτων.....	45
Εικόνα 3.3 : Συμβολισμός κατηγοριών.....	47
Εικόνα 3.4 : Απόσπασμα χάρτη (ατυχήματα ανά ποσότητα διαρροής).....	48
Εικόνα 3.5 : Απόσπασμα χάρτη (ατυχήματα ανά ποσότητα διαρροής κατά ΙΤΟΡΡ).....	49
Εικόνα 3.6 : Απόσπασμα χάρτη (ατυχήματα ανά τύπο πλοίου).....	50
Εικόνα 3.7 : Παραμετροποίηση εργαλείου Point Density.....	51
Εικόνα 3.8 : Χάρτης πυκνότητας πλήθους ατυχημάτων.....	52
Εικόνα 3.9 : Χάρτης πυκνότητας μεγέθους ατυχημάτων.....	53
Εικόνα 3.10 : Ευαίσθητες περιοχές.....	55
Εικόνα 3.11 : Το εργαλείο buffer.....	57
Εικόνα 3.12 : Απόσπασμα χάρτη (ζώνες επικινδυνότητας).....	57
Εικόνα 3.13 : Το εργαλείο Select.....	59
Εικόνα 3.14 : Δημιουργία κυκλικής περιοχής ρύπανσης για διαρροές κατηγορίας 1.....	60
Εικόνα 3.15 : Απόσπασμα χάρτη (πληγείσες περιοχές).....	62
Εικόνα 3.16 : Ενεργοποίηση ιδιότητας χρόνου για το θεματικό επίπεδο των ατυχημάτων.....	63
Εικόνα 3.17 : Το παράθυρο Time Slider και οι επιλογές παραμετροποίησής του.....	64
Εικόνα 3.18 : Στιγμιότυπο από βίντεο χρονικής αναπαράστασης ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας.....	65

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

---

Διάγραμμα 1.1 : Αιτίες θαλάσσιων ατυχημάτων.....	8
Διάγραμμα 3.1 : Ναυτικά ατυχήματα.....	37
Διάγραμμα 3.2 : Ποσοστό ατυχημάτων με και χωρίς ρύπανση.....	38
Διάγραμμα 3.3 : Ηλικίες πλοίων.....	39
Διάγραμμα 3.4 : Ποσοστά ηλικιακής κατανομής πλοίων.....	39
Διάγραμμα 3.5 : Αριθμός ατυχημάτων ανά είδος πλοίου.....	41
Διάγραμμα 3.6 : Είδη ατυχημάτων.....	42
Διάγραμμα 3.7 : Ατυχήματα oil tanker.....	43
Διάγραμμα 3.8 : Ατυχήματα General cargo.....	44
Διάγραμμα 3.9 : Ατυχήματα ανά έτος.....	45
Διάγραμμα 3.10 : Ατυχήματα ανά μήνα.....	46
Διάγραμμα 3.11 : Model Builder, εξαγωγή ζωνών επικινδυνότητας.....	56

Διάγραμμα 3.12 : Εναλλακτική μορφή μοντέλου με πολυγωνικά μόνο αρχικά δεδομένα .....	58
Διάγραμμα 3.13: Model Builder, εξαγωγή πληγείσων περιοχών.....	61
Διάγραμμα 3.14: Συχνότητα ατυχημάτων ανά μέγεθος διαρροής.....	62

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΓΣΠ	Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών
GIS	Geographic Information Systems
DWT	Deadweight Tonnage
EMSA	European Maritime Safety Agency
IMO	International Maritime Organization
ITOPF	International Tanker Owners Pollution Federation
LPG	Liquified Petroleum Gas
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
REMPEC	Regional Marine Pollution Emergency Response Centre for the Mediterranean Sea
SAR	Synthetic Aperture Radar

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Πράσινη Βίβλος, η οποία γράφτηκε από την επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων το 2006, έχει στο εξώφυλλό της μία φράση που αποδίδεται στο συγγραφέα Arthur C. Clarke ο οποίος λέει: «Πόσο άστοχο είναι να ονομάζουμε τον πλανήτη αυτό Γη, όταν είναι σαφέστατα Ωκεανός». Η σημασία των θαλασσών για την ευημερία του ανθρώπου έχει γίνει προφανής μέσα από την ιστορία αλλά και από τον τρόπο με τον οποίο έχει ενσωματωθεί στις παραδόσεις και στην πολιτιστική κληρονομιά των λαών των παραθαλάσσιων περιοχών και όχι μόνο. Στην αρχαία ελληνική μυθολογία, ο Ποσειδώνας, ο θεός της θάλασσας, ήταν ένας από τους σπουδαιότερους θεούς του Ολύμπου, ενώ πολλά μυθικά θαλάσσια τέρατα, θεότητες και άλλες οντότητες αντικατόπτριζαν το δέος, την αγάπη αλλά και το φόβο του ανθρώπου για το υγρό στοιχείο. Η θάλασσα βρίσκεται από τότε μέσα στη σκέψη του ανθρώπου, στο φαγητό του, στα τραγούδια του, στις ιστορίες των ναυτικών, στις παροιμίες και στους νησιώτικους χορούς, που άλλοτε είναι ήρεμοι όπως τα γαλήνια νερά και άλλοτε ζωηροί και έντονοι όπως το φουρτουνιασμένο πέλαγος.

Η θάλασσα είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες αιφόρου ανάπτυξης προσφέροντας δυνατότητες για αξιοποίηση του ενεργειακού της δυναμικού και των φυσικών της πόρων, για ανάπτυξη του εμπορίου και των μεταφορών, της αλιείας, του τουρισμού και της αναψυχής. Η Ευρώπη, περιβαλλόμενη από θάλασσα, οφείλει την ανάπτυξή της σε αυτήν, και χαρακτηριστικό είναι πως πολλά αστικά κέντρα βρίσκονται σε μεγάλα λιμάνια τα οποία είναι εμπορικοί και οικονομικοί κόμβοι της γηραιάς ηπείρου. Εξέχουσα σημασία ανάμεσα στις θάλασσες της Ευρώπης κατέχει η Μεσόγειος Θάλασσα, μία κλειστή λεκάνη με σημαντική γεωπολιτική θέση, καθώς ενώνει τρεις ηπείρους και 23 διαφορετικά κράτη. Λόγω της θέσης της, η Μεσόγειος φιλοξενεί πλήθος από θαλάσσιες διαδρομές και σε αυτήν λαμβάνει χώρα το 15% της παγκόσμιας δραστηριότητας σε αριθμό port calls και το 10% σε DWT<sup>1</sup> (REMPEC, 2008). Τα εμπορικά πλοία που διαπλέουν μέσω της Μεσογείου γίνονται ολοένα και μεγαλύτερα μεταφέροντας περισσότερο φορτίο σε μεγαλύτερα containers, ενώ παράλληλα η συνολική δραστηριότητα των πλοίων εντός της θάλασσας αναμένεται να αυξηθεί μελλοντικά.

---

<sup>1</sup> το *Deadweight tonnage* είναι η χωρητικότητα εκτοπίσματος, μονάδα μέτρησης μεταφορικής ικανότητας πλοίων.

Τα τελευταία χρόνια έχει ενταθεί ο προβληματισμός για τις περιβαλλοντικές συνέπειες της ανθρώπινης δραστηριότητας, όπως αυτή έχει διαμορφωθεί κυρίως από τη βιομηχανική επανάσταση και μετέπειτα. Μία από τις συνέπειες αυτές είναι η ολοένα και αυξανόμενη ρύπανση των θαλασσών. Τα αίτια για το γεγονός αυτό μπορούν γενικά να συνοψιστούν στους παρακάτω παράγοντες :

- έντονη αστικοποίηση
- συγκέντρωση βιομηχανικών δραστηριοτήτων σε περιορισμένες γεωγραφικά περιοχές
- χρήση του πετρελαίου ως κύρια πηγή ενέργειας
- πληθυσμιακή έκρηξη
- τεχνολογική πρόοδος
- υπερκατανάλωση (κυρίως στις δυτικές/ανεπτυγμένες κοινωνίες)
- εντατική χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων
- αύξηση θαλάσσιων μεταφορών πετρελαίου και χημικών ουσιών

Όλες οι παραπάνω συντελούν στη δημιουργία πολλών μορφών ρύπανσης των υδάτινων οικοσυστημάτων. Κάνοντας μία προσπάθεια κατηγοριοποίησής τους, αυτές θα μπορούσαν να διακριθούν σε :

- **Οργανική ρύπανση**, η οποία συνίσταται σε οικιακά και βιομηχανικά λύματα, πλούσια σε οργανικές ενώσεις και ανόργανα στοιχεία τα οποία ευνοούν την ανάπτυξη αποσυνθετικών μικροοργανισμών με κύρια συνέπεια τον ευτροφισμό των υδάτων και την υποξία, και επίδραση στη βιομάζα, τον αριθμό και την αφθονία των ειδών.
- **Χημική ρύπανση**, η οποία αποτελείται χημικές ουσίες όπως χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, γεωργικά φάρμακα και παρασιτοκτόνα και βαρέα μέταλλα, τα οποία είναι ασύμβατα με όλες τις μορφές ζωής. Λόγω της μεταφοράς τους μέσω της τροφικής αλυσίδας, τα χημικά στοιχεία μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές βλάβες σε πληθώρα οργανισμών.
- **Στερεά απόβλητα**, κυρίως βιομηχανικά, υπολείμματα από την επεξεργασία ορυκτών και πλαστικά. Τα στερεά υλικά μπορούν να σκεπάσουν και να

θανατώσουν οργανισμούς του βυθού, να αλλάξουν την κοκκομετρική σύσταση των ιζημάτων και να καταποθούν από ψάρια και θαλάσσια θηλαστικά.

- **Ραδιενεργά απόβλητα**, δηλαδή όλα τα υλικά τα οποία εκπέμπουν κάποιας μορφής ακτινοβολία. Είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα για τους ζωντανούς οργανισμούς και διατηρούν τις επιβλαβείς τους ιδιότητες για πολλά χρόνια.
- **Θερμική ρύπανση**, η οποία συνήθως προέρχεται από νερό το οποίο έχει θερμανθεί από τη χρήση του ως ψυκτικό μέσο σε πυρηνικούς σταθμούς, διυλιστήρια και βιομηχανίες. Η θερμική ρύπανση επιδρά με αρνητικό τρόπο στη φυσιολογία των θαλάσσιων οργανισμών, επηρεάζει τη φυσιογνωμία των βιοκοινωνιών, αλλάζει τη διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό και μπορεί να δημιουργήσει θερμική στρωμάτωση του νερού.
- **Ρύπανση από πετρέλαιο ή άλλους υδρογονάνθρακες**. Προκαλεί δηλητηρίαση και θάνατο πολλών θαλάσσιων όντων, φυτικών και βενθικών οργανισμών, καθότι είναι αδιάλυτοι στο νερό και αργούν να διασπαστούν.
- **Ηχητική ρύπανση**. Δημιουργείται είτε από διάφορα συστήματα εντοπισμού που χρησιμοποιούν ορισμένες κατηγορίες πλοίων (πχ. σόναρ, τομογράφοι/air guns) είτε από τις διαδικασίες εγκατάστασης/απεγκατάστασης θαλάσσιων αιολικών πάρκων και πλατφορμών εξόρυξης. Μπορεί να επηρεάσει τη συμπεριφορά κυρίως κάποιων θαλάσσιων θηλαστικών.
- **Οπτική ρύπανση**. Η οπτική όχληση που δημιουργείται κυρίως από την εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε παράκτιες περιοχές.

Παρόλα αυτά, στη συνείδηση της κοινής γνώμης δεν έχει εδραιωθεί ακόμα η επίδραση της ρύπανσης των θαλασσών στην καταστροφή του φυσικού περιβάλλοντος. Πιθανότερη αιτία για το γεγονός αυτό, είναι πως για την πλειονότητα των κατοίκων του πλανήτη, θάλασσα είναι η παράκτια περιοχή στην οποία αυτοί δραστηριοποιούνται, δηλαδή μία λεπτή σχετικά λωρίδα νερού κατά μήκος της ακτογραμμής. Ξεχνάνε λοιπόν, πως ο θαλάσσιος χώρος είναι κάτι πολύ περισσότερο και πως είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με τη διατήρηση της υγείας του πλανήτη μας. Επιπλέον, κάποιες μορφές ρύπανσης είτε επειδή δεν είναι άμεσα ορατές στο ανθρώπινο μάτι, είτε επειδή δεν προξενούν τόσο μεγάλη ενόχληση στη συνείδηση και την αισθητική του ανθρώπου (πχ ηχητική ρύπανση) δεν θεωρούνται από την πλειονότητα τόσο σημαντικές. Αντίθετα, κάποιες άλλες μορφές, όπως οι πετρελαιοκηλίδες, είναι άμεσα ορατές και

προκαλούν προβληματισμό και ιδιαίτερη ενόχληση στην αισθητική και τις ευαισθησίες των ανθρώπων, με αποτέλεσμα να απασχολούν σε μεγαλύτερο βαθμό την κοινή γνώμη.

Σήμερα, η παρακολούθηση του θαλάσσιου χώρου γίνεται πλέον πολύ ευκολότερα απ' ό τι παλαιότερα χρόνια, χάρη στην πρόοδο που έχει επιτευχθεί στον τομέα της τεχνολογίας. Έτσι, με διάφορα εργαλεία όπως τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, οι δορυφορικές εικόνες και άλλα σύγχρονα συστήματα, ο άνθρωπος μπορεί να παρακολουθήσει και να καταγράψει περιστατικά ρύπανσης, να μελετήσει συμπεριφορές πετρελαιοκηλίδων και να δημιουργήσει χάρτες και διαδραστικά εργαλεία τα οποία βοηθούν στην ορθή αντιμετώπιση των παραπάνω περιστατικών.

### **Σκοπός της εργασίας**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα μελετηθούν ναυτικά ατυχήματα που οδηγούν σε διαρροή πετρελαίου. Η εργασία θα εστιάσει σε ατυχήματα πλοίων τα οποία συνέβησαν στον Ελλαδικό χώρο και είχαν ως συνέπεια τη ρύπανση του θαλάσσιου χώρου μέσα από τη δημιουργία πετρελαιοκηλίδων. Σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) θα γίνει η απεικόνιση και στατιστική ανάλυση/μοντελοποίηση των ατυχημάτων αυτών και θα παραχθούν χάρτες οι οποίοι θα απεικονίζουν περιοχές και τάσεις με αυξημένη επικινδυνότητα (σε σχέση με το επιλεγμένο πρόβλημα). Επιπλέον θα γίνει προσπάθεια για δημιουργία χαρτών δυναμικά μεταβαλλόμενων με την κλίμακα του χρόνου για την παρακολούθηση των ατυχημάτων της πετρελαιοκηλίδας και εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων που μπορούν να συμβάλλουν στην επιτυχή αντιμετώπισή της.

### **Διάρθρωση της εργασίας**

Στο κεφάλαιο 1 αναφέρονται βασικές πληροφορίες βιβλιογραφίας προκειμένου να διαμορφωθεί μία σφαιρική γνώση πάνω στο υπό μελέτη πρόβλημα και τα αίτιά του. Παρουσιάζονται τα είδη ρύπανσης από δραστηριότητες πλοίων, ορισμένα στοιχεία που αφορούν ειδικότερα στις πετρελαιοκηλίδες και στις διαδικασίες στις υπόκεινται στο θαλάσσιο περιβάλλον, καθώς και οι σημαντικότερες επιπτώσεις τους. Επιπλέον, γίνεται αναφορά σε κάποια από τα πιο γνωστά και σημαντικά ατυχήματα πλοίων. Ακολούθως, γίνεται μία συνοπτική παρουσίαση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και του λογισμικού



ArcMap. Τέλος, γίνεται μία σύντομη αναφορά σε σχετικές εργασίες και μελέτες που έχουν δημοσιευθεί.

Στο κεφάλαιο 2 αναφέρονται οι στόχοι της παρούσας εργασίας, η περιοχή μελέτης και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο κεφάλαιο 3 ακολουθεί η απεικόνιση, στατιστική ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων. Κατά την επεξεργασία των δεδομένων παράγονται πίνακες, διαγράμματα και θεματικοί χάρτες που βοηθούν στην κατανόηση του προβλήματος, απαντούν σε ποσοτικά και χωρικά ερωτήματα και μπορούν να συμβάλλουν στην ολοκληρωμένη αντιμετώπιση της θαλάσσιας ρύπανσης από τη δημιουργία πετρελαιοκηλίδων. Επιπλέον παράγεται ένας δυναμικά μεταβαλλόμενος με την κλίμακα του χρόνου χάρτης ο οποίος απεικονίζει τα ατυχήματα ανά έτος δημιουργίας τους.

Στο κεφάλαιο 4 περιλαμβάνονται τα συμπεράσματα της εργασίας και παρουσιάζονται προοπτικές για περαιτέρω ανάπτυξη και μελέτη των μεθόδων που παρουσιάστηκαν.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται η βιβλιογραφία.

Στο παράρτημα περιλαμβάνονται οι θεματικοί χάρτες, οι οποίοι λόγω κλίμακας/μεγέθους δεν μπορούσαν να ενταχθούν στο κυρίως κείμενο της εργασίας.



## 1. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ – ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

### 1.1. Στοιχεία ρύπανσης και θαλάσσιων συγκοινωνιών

#### 1.1.1. Ρύπανση

Σύμφωνα με τη Διακήρυξη της Στοκχόλμης για το περιβάλλον (1972) : “θαλάσσια ρύπανση είναι η εισαγωγή από τον άνθρωπο, άμεσα ή έμμεσα, επιβλαβών ουσιών ή ενέργειας στο θαλάσσιο περιβάλλον, περιλαμβάνοντας και τις εκβολές των ποταμών, που έχει ως αποτέλεσμα τη διαταραχή του θαλάσσιου οικοσυστήματος (διατήρηση των φυσικών πόρων), κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, ανυπέρβλητα εμπόδια στις θαλάσσιες δραστηριότητες (αλιεία) καθώς και ελάττωση των ανέσεων (θαλάσσιος τουρισμός, αναψυχή)”.

#### 1.1.2. Ρύπανση από δραστηριότητες πλοίων

Είναι η ρύπανση που οφείλεται στις θαλάσσιες μεταφορές. Αυτή μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις κατηγορίες, στη ρύπανση που δημιουργείται στη ναυπηγο-επισκευαστική ζώνη, στη λειτουργική ρύπανση και στη ρύπανση λόγω ατυχημάτων (Τριανταφύλλου, 2004).

Η πρώτη κατηγορία αφορά κυρίως στην παράκτια ζώνη και σχετίζεται με τα **στάδια της ναυπήγησης, της επισκευής και της διάλυσης ενός πλοίου**. Κατά τη ναυπήγηση πραγματοποιούνται εργασίες συγκόλλησης, συναρμολόγησης, καθαρισμού, αμμοβολής και βαφής, οι οποίες επιβαρύνουν το περιβάλλον με βλαβερές χημικές ουσίες, υπολείμματα μετάλλων, βαρέα μέταλλα, λιπαντικά και γράσα, ψυκτικά υγρά και άλλα πολλά απορρίμματα. Ίδιας φύσης είναι και τα παράγωγα κατά τη συντήρηση – επισκευή ενός πλοίου. Τέλος, κατά τη διάλυση παράγονται ρύποι που οφείλονται σε στερεά υγρά και αέρια απόβλητα, λόγω εργασιών όπως η πλύση μετάλλων και δεξαμενών για καθαρισμό από κατάλοιπα πετρελαιοειδών, σκουριών και λιπαντικών και η κοπή μετάλλων με οξυγόνο η οποία προκαλεί έκλυση αερίων, ρινισμάτων, σκουριάς και βαρέων μετάλλων.

Η δεύτερη κατηγορία αφορά στη ρύπανση που προέρχεται από τις **λειτουργικές διαδικασίες** ενός εμπορικού πλοίου. Αυτές είναι οι εξής:

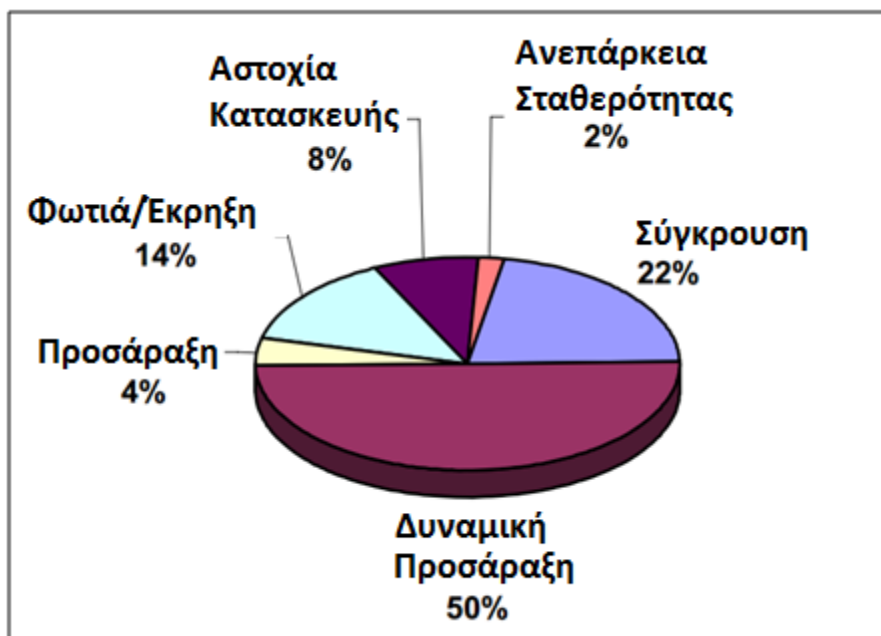
#### i. Διαρροές κατά τη φόρτωση και την εκφόρτωση

- ii. **Διαρροές κατά τον ερματισμό και τον αφερματισμό**
- iii. **Απορρίψεις αποβλήτων κατά την πλύση των δεξαμενών φορτίου**
- iv. **Μεταγγίσεις καυσίμων**
- v. **Διαρροές καταλοίπων στους χώρους φορτίου και μηχανοστάσιου**
- vi. **Ρύπανση από λύματα και απορρίμματα.**

Η τρίτη κατηγορία της ρύπανσης της θάλασσας από την κίνηση των εμπορικών πλοίων αφορά στις περιπτώσεις που αυτά εμπλέκονται σε **ατυχήματα**. Τα βασικότερα είδη ατυχημάτων που οφείλονται κυρίως σε ανθρώπινο σφάλμα είναι :

- i. **Συγκρούσεις ή επαφές πλοίων και μόνιμων εγκαταστάσεων.** Οι συγκρούσεις στις περισσότερες περιπτώσεις οφείλονται σε ανθρώπινο λάθος και συμβαίνουν συνήθως σε περιοχές με συχνή κυκλοφορία
- ii. **Προσαράξεις ή όταν το πλοίο εξοκείλει.** Συνήθως συμβαίνουν σε παράκτιες περιοχές με πυκνή κυκλοφορία, καθώς και κοντά σε διεθνή στενά και κανάλια όπου υπάρχει περιορισμένος χώρος για ελιγμούς.
- iii. **Εκρήξεις και πυρκαγιές πάνω στα πλοία,** κυρίως λόγω μεταφοράς επικίνδυνου φορτίου.
- iv. **Βυθίσεις ή εξαφανίσεις πλοίων,** κυρίως σε ανοιχτές θάλασσες λόγω δυσμενών καιρικών συνθηκών ή μετατόπισης φορτίου.
- v. **Ζημιές στη δομή του πλοίου.** Ζημιές συμβαίνουν συνήθως στο εξωτερικό του πλοίου ή στα τοιχώματα των δεξαμενών του, λόγω κακής συντήρησης, μετατόπισης φορτίου ή δυσμενών καιρικών συνθηκών.
- vi. **Πολεμικές απώλειες πλοίων,** ιδιαίτερα όταν τα πλοία έχουν επιταχθεί από το κράτος προκειμένου να χρησιμοποιηθούν σε πολεμικές επιχειρήσεις.

Στο ακόλουθο σχήμα αναπαρίστανται ποσοστιαία οι κυριότερες αιτίες θαλάσσιων ατυχημάτων:



Διάγραμμα 1.1 : Αιτίες θαλάσσιων ατυχημάτων (Τριανταφύλλου, 2004)

### 1.1.3. Ρύπανση από πετρελαιοκηλίδες

Τα πετρελαιοειδή που μεταφέρουν τα πλοία δεν αποτελούνται όλα από τα ίδια συστατικά, αλλά συμβαίνει να έχουν διαφορετικές ιδιότητες ανάλογα με το είδος τους. Σε περίπτωση που κάποιο πετρελαιοειδές διαρρεύσει στη θάλασσα, αρχίζει να υφίσταται την επίδραση ορισμένων μηχανικών, φυσικών και χημικών διεργασιών καθώς αυτό εξαπλώνεται στην επιφάνεια του νερού και κινείται. Χαρακτηριστική ιδιότητα του πετρελαίου είναι ο σχηματισμός γαλακτώματος λόγω της εισχώρησης μαζών θαλασσινού νερού μέσα στην πετρελαιοκηλίδα. Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη μεγάλη αύξηση του όγκου της πετρελαιοκηλίδας, έως και περισσότερες από 4 φορές τον αρχικό της όγκο. Κατά κύριο λόγο, τα παράγωγα του πετρελαίου μπορούν να διαχωριστούν σε ελαφριά και βαρέα. Τα ελαφριά, όπως gasoline, diesel, light crude oils, δεν παραμένουν στην επιφάνεια της θάλασσας για μεγάλο χρονικό διάστημα εξαιτίας της γρήγορης εξάτμισης των συστατικών τους. Αντιθέτως, τα βαρέα παράγωγα (heavy crudes και heavy fuel oils), λόγω της παχύρευστης σύστασής τους και του υψηλού ιξώδους το οποίο συμβάλλει στη μεγάλη συνεκτικότητά τους, εμφανίζουν την ιδιότητα να ταξιδεύουν σε μεγάλες αποστάσεις. Επιπλέον, όσο πιο παχύρευστο είναι ένα πετρελαιοειδές τόσο πιο δαπανηρός και δύσκολος είναι ο καθαρισμός του.

### 1.1.3.1. Διεργασίες που συμβαίνουν στην πετρελαιοκηλίδα στο θαλάσσιο 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).** Οι διεργασίες μετατόπισης, κατηγοριοποιούνται σε διεργασίες, οι οποίες σχετίζονται με τον άνεμο και σε διεργασίες οι οποίες σχετίζονται με το θαλάσσιο ρεύμα. Οι πρώτες έχουν σαν αποτέλεσμα επιφανειακές μετατοπίσεις, ενώ οι δεύτερες επιφέρουν υποεπιφανειακές μετατοπίσεις (Wang et al., 2005).

- **Εξάπλωση (spreading).** Με την είσοδο του πετρελαίου στη θάλασσα αρχίζει η οριζόντια εξάπλωσή του, υπό την συνδυασμένη επίδραση μεταξύ ιξώδους, επιφανειακής τάσης και βαρύτητας. Πετρέλαια με χαμηλό ιξώδες τείνουν να εξαπλωθούν γρηγορότερα. Η ταχύτητα εξάπλωσης καθορίζεται ως επί το πλείστον από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες της περιοχής (ταχύτητα του αέρα, υδάτινα ρεύματα, ύψος κύματος, θερμοκρασία επιφάνειας θάλασσας), καθώς και από το πάχος της κηλίδας και τις ιδιότητες του πετρελαίου (Reed M., 1999). Οι περισσότεροι τύποι αργού πετρελαίου σχηματίζουν με την εξάπλωση, κηλίδες πάχους περίπου 0.3mm μέσα σε δώδεκα ώρες. Αρχικά, το πετρέλαιο εξαπλώνεται σαν συμπαγής (συναφής) κηλίδα. Απουσία άλλων παραγόντων, η εξάπλωση συνεχίζεται μέχρι τελικά να σχηματιστούν στενές λωρίδες πάχους όχι μεγαλύτερου των 0.5μm. Αν η ποσότητα του πετρελαίου είναι μικρή, τότε σχηματίζεται λεπτό υμένιο (100-200 L πετρελαίου καλύπτουν μια επιφάνεια περίπου ενός τετραγωνικού χιλιομέτρου πάχους 0,1μm) (Κορρός, 2008).

- **Εξάτμιση (evaporation).** Είναι η διαδικασία μεταφοράς μέρους της μάζας του πετρελαίου από την κηλίδα στην ατμόσφαιρα. Η εξάτμιση 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. Η ύπαρξη ισχυρών ανέμων αυξάνει τον ρυθμό εξάτμισης. Ο κυματισμός (διατάραξη της θάλασσας), ενισχύει την εξάτμιση καθώς διαχωρίζει σε σταγόνες το διαρρέον πετρέλαιο και το απομακρύνει από τον κύριο όγκο της κηλίδας (Fingas, 2012). Γενικά τα πετρελαιοειδή με μεγαλύτερα ποσοστά ελαφριών και πτητικών ενώσεων, τείνουν να εξατμιστούν γρηγορότερα. Τα περισσότερα είδη αργού πετρελαίου λοιπόν, μέσα σε 24 ώρες έχουν χάσει το 25-30% των ελαφρύτερων συστατικών τους. Η εξάπλωση της κηλίδας ενισχύει την διαδικασία της εξάτμισης, καθώς το πάχος αυτής μειώνεται ενώ αντίθετα η επιφάνειά της αυξάνεται. Η εξάτμιση, η οποία διαρκεί περίπου μία εβδομάδα, προκαλεί αύξηση της πυκνότητας και του ιξώδους της κηλίδας. Στη συνέχεια οδηγούμαστε στη διαδικασία της γαλακτωματοποίησης και της πήξης, που ελαττώνουν την επιφάνεια (εμβαδόν) της πετρελαιοκηλίδας, καθώς και το ρυθμό εξάτμισης αυτής.

- **Διάλυση (dissolution).** 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 ακριβώς και με την εξάτμιση, η διάλυση των υδρογονανθράκων πετρελαίου εξαρτάται από τον αριθμό των ατόμων C. Στην περίπτωση μείγματος διαφόρων ενώσεων, το φαινόμενο της διάλυσης γίνεται πιο περίπλοκο.

- **Γαλακτωματοποίηση (emulsification).** Η περισσότερο συνήθης περίπτωση γαλακτωματοποίησης είναι αυτή του νερού στο πετρέλαιο (water-in-oil emulsion), στην οποία το γαλάκτωμα που διαμορφώνεται είναι πολύ πιο επίμονο από το αρχικό πετρέλαιο και έχει πολύ μεγαλύτερο ιξώδες. Πολλοί τύποι αργού πετρελαίου έχουν την τάση να απορροφούν νερό σχηματίζοντας γαλακτώματα νερού πετρελαίου, με συνέπεια να έχουμε αύξηση του όγκου του ρυπαντή κατά 3 με 4 φορές. Το ποσοστό του νερού στο γαλάκτωμα, μπορεί να φτάσει το 75-80% (Fingas, 2005). Καθώς το ποσοστό αυτό αυξάνεται, το χρώμα του γαλακτώματος μεταβάλλεται μεταξύ μαύρου, πορτοκαλί και κόκκινου. Η ταχύτητα γαλακτωματοποίησης εξαρτάται από την κατάσταση θάλασσας στην οποία βρίσκεται το πετρέλαιο. Αν η θάλασσα είναι ταραγμένη, ευνοείται το φαινόμενο και έχουμε ταχύτερη διεργασία γαλακτωματοποίησης από ότι σε ήρεμη θάλασσα, στην οποία το φαινόμενο εξελίσσεται δυσκολότερα και πιο αργά. Η διαδικασία της απορρόφησης του νερού, ολοκληρώνεται σε μερικές ώρες. Η παραπάνω διεργασία δυσχεραίνει το φαινόμενο της εξάτμισης και την τυχόν διαδικασία καθαρισμού.

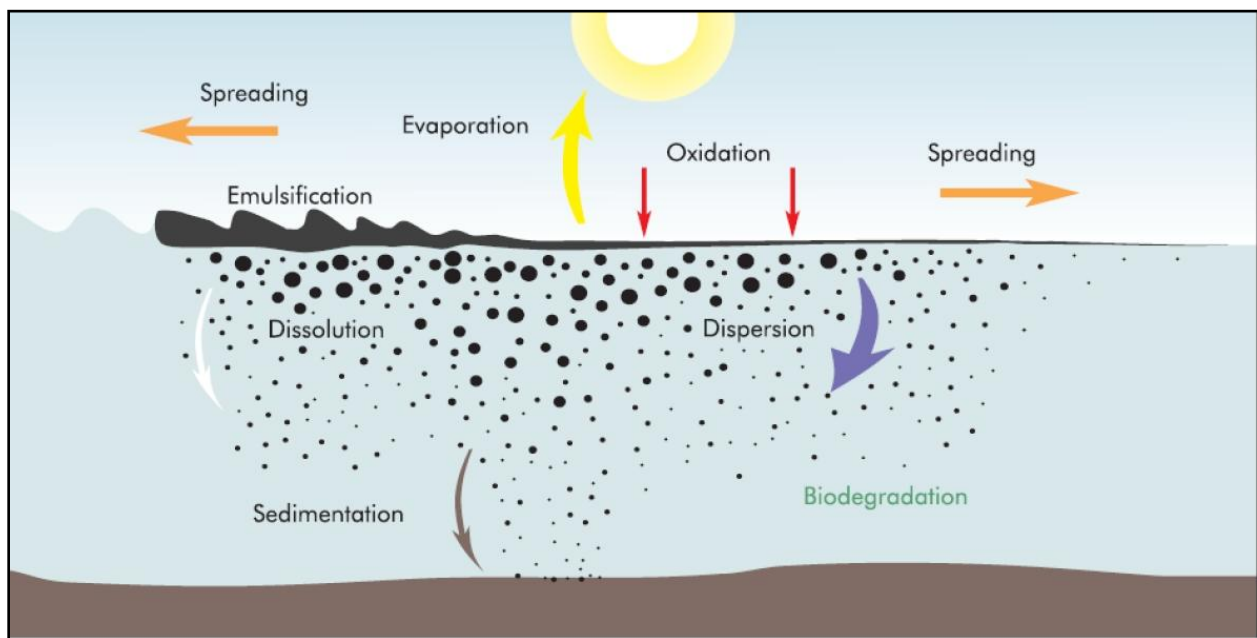
- **Διασπορά (dispersion).** Κύματα και στροβιλισμοί στην επιφάνεια της θάλασσας δημιουργούν σταγονίδια διαφόρων μεγεθών. Οι μεγάλες σταγόνες επιστρέφουν στην επιφάνεια, όπου συσσωματώνονται με άλλες και ξαναδημιουργούν κηλίδα είτε εξαπλώνονται δημιουργώντας λεπτό "φιλμ". Οι μικρές σταγόνες αιωρούνται αναμειγνύονται με το νερό και ξεκινά η βιοαποδόμηση και η καθίζηση. Ο ρυθμός φυσικής διασποράς και ο ρυθμός εξάτμισης καθορίζουν το χρόνο ζωής μιας κηλίδας. Τα γαλακτώματα του πετρελαίου δεν είναι σταθερά και οι σταγόνες συσσωματώνονται και επιστρέφουν στην επιφάνεια σχηματίζοντας ξανά κηλίδα.

- **Οξείδωση (oxidation).** Η χημική αντίδραση του οξυγόνου με τους υδρογονάνθρακες πετρελαίου ονομάζεται οξείδωση. Αυτή συμβαίνει στην επιφάνεια της θάλασσας και επιταχύνεται μετά την εξάπλωση του πετρελαίου και την δημιουργία λεπτών στρωμάτων (films) κηλίδων (Huang et al.,1984). Όταν έχουμε ταυτόχρονη παρουσία ηλιακής ακτινοβολίας, τότε γίνεται λόγος για το φαινόμενο της φωτοχημικής οξείδωσης (φωτοοξείδωση) . Αυτή εξαρτάται από το πάχος του υμενίου. Η φωτοχημική οξείδωση των υδρογονανθράκων πετρελαίου εξαρτάται από τη χημική τους σύσταση, τη θερμοκρασία και το ηλιακό φως. Οι

διεργασίες που λαμβάνουν χώρα όμως κατά τη φωτοοξείδωση δεν έχουν μελετηθεί πλήρως και σε βάθος.

- **Βύθιση/καθίζηση-ιζηματοποίηση (sinking/sedimentation).** Οι διαδικασίες της γήρανσης που αυξάνουν την πυκνότητα του πετρελαίου μπορεί να οδηγήσουν ορισμένα βαριά κλάσματα σε βύθιση. Συχνά η αιτία της βύθισης είναι η προσκόλληση ιζημάτων και άλλων οργανικών ουσιών ή και άμμου σε ρηχές θάλασσες με αμμώδη βυθό. Αλλαγές της θερμοκρασίας μπορούν να προκαλέσουν παροδική βύθιση και στη συνέχεια ανάδυση του πετρελαίου.

- **Βιοαποικοδόμηση (biodegradation).** Η βιοδιάσπαση (ή βιοαποικοδόμηση) του πετρελαίου γίνεται από βακτήρια, μικρόβια και άλλους μικροοργανισμούς που περιέχονται στο θαλασσινό νερό και μετασχηματίζουν την δομή του, υποβιβάζοντας το τελικά, σε οξείδια του άνθρακα και νερό (Atlas R. And Hazen T., 2011). Ο ρυθμός της διεργασίας 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 βιοδιάσπαση μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο στην επιφάνεια νερού – πετρελαίου, δεδομένου ότι το οξυγόνο δεν είναι διαθέσιμο σε επαρκείς ποσότητες μέσα στο ίδιο το πετρέλαιο και ενισχύεται καθώς προχωρούν οι υπόλοιπες διαδικασίες της γήρανσης (μεγέθυνση της επιφάνειας του ρύπου, δημιουργία σταγονιδίων κτλ). Υπό ιδανικές καιρικές συνθήκες στην λεκάνη της Μεσογείου, έχει εκτιμηθεί ότι ο ρυθμός της βιοδιασπώμενης ποσότητας πετρελαιοειδών δεν μπορεί να ξεπεράσει το ένα γραμμάριο ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας ρυπογόνου.





Εικόνα 1.1: Διεργασίες γήρανσης πετρελαιοκηλίδας (πηγή: IMO)

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 συγκερασμό διαφόρων φυσικοχημικών και μετεωρολογικών παραμέτρων. Στα πρώτα στάδια ζωής της πετρελαιοκηλίδας οι διεργασίες οι οποίες λαμβάνουν μέρος είναι κατά κύριο λόγο η διασπορά, η διάλυση και η γαλακτωματοποίηση. Λόγω της διάλυσης και της διασποράς, περίπου το 13,3 % του πετρελαίου διαλύεται και διαχέεται στη μάζα του νερού. Αντίθετα, η οξείδωση, η καθίζηση και η βιοαποικοδόμηση, είναι διεργασίες οι οποίες γίνονται σε βάθος χρόνου.

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

### **1.1.3.2. Επιπτώσεις πετρελαιοκηλίδας**

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως τα ατυχήματα σχετιζόμενα με τη δημιουργία πετρελαιοκηλίδων έχουν ιδιαίτερο αντίκτυπο στην ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης, πιθανότατα επειδή οι επιπτώσεις τους είναι άμεσες και οφθαλμοφανείς. Οι συνέπειες αυτές δεν περιορίζονται βέβαια μόνο σε περιβαλλοντικό επίπεδο αλλά επεκτείνονται και σε άλλους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, τόσο σε οικονομικό όσο και σε 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 εξαπλώνεται στην επιφάνειά της, μειώνεται η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό με αποτέλεσμα καταστροφικές συνέπειες στην υδρόβια ζωή, επιδρώντας άμεσα και τοξικά. Συγκεκριμένα, εμποδίζει το φυτοπλαγκτόν να φωτοσυνθέσει, καταστρέφει τα αυγά και τις προνύμφες των ψαριών και προκαλεί ασφυξία στα ψάρια τα οποία πεθαίνουν καθώς το πετρέλαιο μπαίνει στα βράγχια τους. Παράλληλα, μεγάλα θύματα αποτελούν και τα πουλιά,

τα οποία ή καταπίνουν το πετρέλαιο και δηλητηριάζονται, 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.

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. Με λίγα λόγια, οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις είναι τεράστιες, αφού με τον έναν ή τον άλλο τρόπο επηρεάζονται το θαλάσσιο περιβάλλον, οι παράκτιες περιοχές, η δημόσια υγεία, η αλιεία, ο τουρισμός και οι ενεργειακοί πόροι. Ένα επιπρόσθετο σημείο σημασίας είναι το κόστος απομάκρυνσης του πετρελαίου και καθαρισμού της περιοχής και η ζημιά στην αισθητική του τοπίου.

#### **1.1.4. Σημαντικά θαλάσσια ατυχήματα σχετιζόμενα με διαρροή πετρελαίου**

##### **1.1.4.1. Exxon Valdez**

Στις 24 Μαρτίου του 1989, το τάνκερ Exxon Valdez προσάραξε στον ύφαλο Blight στον Πορθμό Prince William στην Αλάσκα. Μέσα σε λίγα λεπτά χύθηκαν στην περιοχή περίπου 40 χιλιάδες τόνοι αργού πετρελαίου. Το ασύλληπτο ατύχημα ήταν το χειρότερο που είχε σημειωθεί μέχρι τότε στην αμερικανική ιστορία. Κατέστρεψε περισσότερα από 1.300 μίλια ακτογραμμής, διαταράσσοντας τις συνθήκες ζωής και διαβίωσης των ανθρώπων της περιοχής και σκοτώνοντας εκατοντάδες χιλιάδες πουλιά και θαλάσσια ζώα. Περισσότερα από 600.000 πουλιά, εκατομμύρια ψάρια και θαλάσσια ζώα βρήκαν ακαριαίο θάνατο, ενώ ακόμα και μέχρι σήμερα το φυσικό οικοσύστημα δεν έχει ανακάμψει.

Αρχικά, το 1944 η εταιρία Exxon διατάχθηκε από ομοσπονδιακό δικαστήριο, να καταβάλει πέντε δισεκατομμύρια δολάρια για τις ζημιές. Μία έφεση όμως της εταιρείας το 2006 μείωσε το ποσό σε 2,5 δις δολάρια. Το 2008, το Ανώτατο Δικαστήριο των ΗΠΑ προχώρησε σε νέα μείωση του ποσού, αναφορικά με τις ζημιές στην αλιεία, κάνοντάς το λίγο πάνω από 500 εκατομμύρια δολάρια. Εντωμεταξύ, περισσότερα από 2 δισεκατομμύρια δολάρια έχουν δαπανηθεί για τον καθαρισμό της περιοχής. Η Exxon κατέβαλε τουλάχιστον 1 δισεκατομμύριο δολάρια ως αποζημίωση.



Εικόνα 1.2: Εργαζόμενοι στον καθαρισμό της περιοχής στις 2 Απριλίου 1989, μια εβδομάδα μετά τη διαρροή.

Αξιοσημείωτο είναι πως 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 (Τριανταφύλλου, 2004).



Εικόνα 1.3: Ένα θαλασσοπούλι καλυμμένο με πετρέλαιο στο νησί των Ιπποτών, περίπου 35 μίλια από την πετρελαιοκηλίδα, βρέθηκε στις 30 Μαρτίου του 1989.

#### 1.1.4.2. Erika

Ακόμα μία τεράστια οικολογική καταστροφή προκλήθηκε από το ναυάγιο του τάνκερ Erika το 1999, στη Βρετανία. Το δεξαμενόπλοιο ήταν ένα πεπαλαιωμένο πλοίο το οποίο είχε ναυλώσει η εταιρία Total, και ανοιχτά των ακτών της Βρετανίας κόπηκε στη μέση και βυθίστηκε αφήνοντας να διαρρεύσουν στη θάλασσα 20.000 τόνοι αργού πετρελαίου. Η πετρελαιοκηλίδα μόλυνε τις ακτές σε μήκος 400 χιλιομέτρων, σκοτώνοντας χιλιάδες πουλιά και θαλάσσια ζώα.

Η Total κρίθηκε το 2008 υπεύθυνη για την τεράστια πετρελαιοκηλίδα που προκλήθηκε. Ως προς το μέρος της ποινικής ευθύνης, το εφετείο επικύρωσε τις ποινές που επιβλήθηκαν πρωτοδίκως :75.000 ευρώ για το διαχειριστή και τον πλοιοκτήτη του Erika αντιστοίχως και 375.000 ευρώ για τις εταιρείες RINA και Total. Η Total κατέθεσε έφεση κατά της πρωτόδικης απόφασης του 2008, με την οποία η εταιρεία καταδικάσθηκε σε καταβολή αποζημίωσης ύψους 192 εκατομμυρίων ευρώ σε περιβαλλοντικές οργανώσεις, τοπικές αρχές και άλλους φορείς που ενεπλάκησαν στον καθαρισμό των περιοχών που ρυπάνθηκαν. Επιπλέον, η απόφαση του εφετείου επικύρωσε τη νομική έννοια σύμφωνα με την οποία η περιβαλλοντική βλάβη θεωρείται βλάβη για την οποία οι υπεύθυνοι οφείλουν να καταβάλουν αποζημίωση με τον ίδιο τρόπο που γίνεται με άλλες μορφές οικονομικής βλάβης προς ιδιώτες ή εταιρείες.



Εικόνα 1.4: Το δεξαμενόπλοιο Erika

#### 1.1.4.3. Prestige

Το Prestige βυθίστηκε ανοιχτά των ακτών της Ισπανίας στις 19 Νοεμβρίου 2002, αφού έπλεε ακυβέρνητο επί έξι ημέρες στον Ατλαντικό. Το αποτέλεσμα ήταν να διαρρεύσουν 50.000 τόνοι πετρελαίου που μόλυναν χιλιάδες χιλιόμετρα ακτών. Το δεξαμενόπλοιο Prestige, ιδιοκτησίας

μιας offshore λιβεριανής εταιρείας με σημαία Μπαχάμες, ελληνόκτητο σύμφωνα με δημοσιεύματα, μεταφέροντας 77,000 τόνους πετρέλαιο (fuel oil) από τη Λιθουανία με προορισμό την Σιγκαπούρη, κόπηκε στη μέση αφού έχασε την ευστάθειά του λόγω καιρού και βυθίστηκε τελικά στ' ανοιχτά των βορειοδυτικών ακτών της Ισπανίας. Το 26χρονο πλοίο διέθετε μονά τοιχώματα και σύμφωνα με ανακοινώσεις των ισπανικών αρχών δεν κατάφερε τα τελευταία χρόνια να ανταποκριθεί στις προδιαγραφές για ασφαλή ναυσιπλοΐα αφού είχε υποστεί τυπικούς ελέγχους από τον νηογνώμονα. Κατάφερε, όμως, να αποφύγει τον ελλιμενισμό και τον συνεπακόλουθο έλεγχο σε Ευρωπαϊκό λιμάνι, μιας και η φόρτωσή του έγινε από πλοίο, μακριά από λιμάνι, και ανεφοδιάστηκε in transit στην Καλαμάτα και το Γιβραλτάρ. Το ναυτικό ατύχημα έγινε κοντά στο επικίνδυνο πέρασμα της Γαλικίας. Πριν το πλοίο κοπεί στη μέση είχαν ήδη διαρρεύσει τρεις έως τέσσερις χιλιάδες τόνοι πετρελαιοειδών από δύο δεξαμενές του. Συνολικά διέρρευσαν στη θάλασσα 10.000 -κατ' άλλες εκτιμήσεις 20.000 τόνοι- πετρελαιοειδών. Τα δύο κομμάτια του δεξαμενόπλοιου βυθίστηκαν παρασύροντας το υπόλοιπο φορτίο σε βάθος 3.500 μέτρων, αλλά άγνωστο παραμένει τι θα γίνει αυτό το επικίνδυνο φορτίο.



Εικόνα 1.5: Το δεξαμενόπλοιο Prestige

Οι συνέπειες του ατυχήματος ήταν πολύ σοβαρές για την οικολογία της γύρω περιοχής, με άμεσες κοινωνικές και οικονομικές προεκτάσεις:

Η συνολικού μήκους 200 χλμ. πετρελαιοκηλίδα απείλησε μια περιοχή μείζονος οικολογικής σημασίας και μια ιδιαίτερα σημαντική ζώνη αλιείας. Οι ισχυροί άνεμοι και τα θαλάσσια ρεύματα παρέσυραν την πετρελαιοκηλίδα προς το νεοσύστατο Εθνικό Θαλάσσιο Πάρκο των Ατλαντικών νήσων της Γαλικίας, που είναι το σημαντικότερο Ισπανικό οικοσύστημα για θαλάσσια πουλιά και άγρια ζωή. Οι Ισπανικές απαγόρευσαν την αλιεία σε μήκος 100 χλμ γύρω

από τη πόλη La Coruna, όπου ο τοπικός πληθυσμός συντηρείται από την αλιεία και τον τουρισμό. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υποστήριξε την άμεση αποζημίωση των ψαράδων από το Διαρθρωτικό Ταμείο για την Αλιεία, καθώς και άλλες ευρωπαϊκές και από ισπανικές πηγές χρηματοδότησης. Παρά την κινητοποίηση αρχών και εθελοντών, η πετρελαιοκηλίδα ρύπανε τις ακτές: 35 χιλιόμετρα ακτών σύμφωνα με τις αρχές ή 200 χιλιόμετρα σύμφωνα με τις ενώσεις αλιέων, με άμεσες επιπτώσεις όχι μόνο στο περιβάλλον αλλά και την τοπική οικονομία.

#### **1.1.4.4. Sea Diamond**

Μέχρι πρότινος, το πιο πρόσφατο περιστατικό θαλάσσιας ρύπανσης στον ελληνικό χώρο ήταν η βύθιση του κρουαζιερόπλοιου Sea Diamond στην Καλδέρα της Σαντορίνης, στις 5 Απριλίου 2007. Το ναυάγιο του Sea Diamond αναφέρεται στη βύθιση που ξεκίνησε στις 5 Απριλίου 2007 με πρόσκρουση του ομώνυμου κρουαζιερόπλοιου χωρητικότητας 22.412 τόνων της εταιρείας «Louis Hellenic Cruises», το οποίο μετέφερε 1163 επιβάτες και 391 μέλη πληρώματος σε ξέρα στον όρμο των Φηρών της Σαντορίνης και κατέληξε στην καταπόντισή του στον όρμο του Αθηνιού, 10 χιλιόμετρα πιο μακριά από το σημείο της πρόσκρουσης. Από το ναυάγιο του πλοίου σώθηκαν όλοι οι επιβάτες και το πλήρωμα, εκτός από δύο Γάλλους, έναν πατέρα και την κόρη του, που ως σήμερα αγνοούνται.

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.



Εικόνα 1.6: Το κρουαζιερόπλοιο Sea Diamond

Το ναυάγιο παραμένει ως σήμερα στο βυθό, κρεμάμενο σε χείλος γκρεμού, θεωρείται τοξική απειλή για την περιοχή και έχει χαρακτηριστεί «απόβλητο». Στην περίπτωση που γλιστρήσει, ανάλογα με το πότε αυτό θα συμβεί και την κατάσταση αποσύνθεσης του πλοίου, είναι πιθανό να μην αντέξει το κουφάρι και η ρύπανση να επιταχυνθεί σε μεγάλα επίπεδα, ενώ η διαδικασία ανέλκυσης του θα γίνει ακόμα πιο δυσχερής.

#### 1.1.5. Νομοθεσία για την αντιμετώπιση της θαλάσσιας ρύπανσης

Τα ναυτικά ατυχήματα και οι συνέπειες που αυτά είχαν στο περιβάλλον, έχουν γίνει η αιτία για την ευαισθητοποίηση των χωρών απέναντι στους κινδύνους ρύπανσης που συνοδεύουν τις θαλάσσιες μεταφορές, αλλά και η αφορμή για τη θέσπιση μέτρων αντιμετώπισης του φαινομένου αυτού, τόσο σε διεθνές αλλά και σε εθνικό επίπεδο.

Ακολούθως λοιπόν, αναφέρονται οι σημαντικότερες διεθνείς συμβάσεις για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος:

- **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).
- **Διεθνής Συνθήκη Βαρκελώνης (1976)** για την προστασία της Μεσογείου
- **Διεθνής Συνθήκη (1972) του Λονδίνου** "πρόληψη της ρύπανσης της θάλασσας από την απόρριψη καταλοίπων και άλλων υλών από πλοία και αεροσκάφη" (London dumping

convention) . Μαζί με τη συνθήκη της Βαρκελώνης, είναι 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.

- **Διμερής Συμφωνία Ελλάδας-Ιταλίας 1978** περί προστασίας του Ιονίου Πελάγους.
- **Διεθνής Συνθήκη Marpol 73-78** για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία.
- **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.
- **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.
- **Πρωτόκολλο του 2003 της Διεθνούς Σύμβασης CLC του 1992** για την Ίδρυση Διεθνούς Κεφαλαίου αποζημίωσης ζημιών ρύπανσης από πετρέλαιο.

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 ή αλλιώς International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL) που μαζί με τα αρχικά πέντε παραρτήματα της MARPOL συνθέτουν μία από τις σπουδαιότερες στον τομέα της θαλάσσιας ρύπανσης συμβάσεις. Η MARPOL έχει κυρωθεί από τη χώρα μας με τον Ν.1269/1982 (Παραρτήματα Ι – V) και Ν.3104/2003 (Παράρτημα VI)

Συγκεκριμένα, τα παραρτήματα της MARPOL είναι:

- **Παράρτημα Ι:** Ρύπανση από πετρελαιοειδή
- **Παράρτημα ΙΙ:** Ρύπανση από υγρές επιβλαβείς ουσίες χύμα
- **Παράρτημα ΙΙΙ:** Ρύπανση από υγρές επιβλαβείς ουσίες που μεταφέρονται συσκευασμένες
- **Παράρτημα ΙV:** Ρύπανση από λύματα
- **Παράρτημα V:** Ρύπανση από απορρίμματα
- **Παράρτημα VI:** Ρύπανση της ατμόσφαιρας από πλοία

Σε εθνικό επίπεδο, οι εξής πρωτοβουλίες έχουν λάβει χώρα:

- Ν. 1650/1986 Για την προστασία του περιβάλλοντος
- Π.Δ. 55/1998 Προστασία του θαλάσσιου Περιβάλλοντος (κωδικοποίηση του Ν. 743/1977).



- 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.

## **1.2. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών**

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) ή αλλιώς Geographic Information Systems (GIS) είναι ένα τεχνολογικό πεδίο που μπορεί να συνδέει γεωγραφικά χαρακτηριστικά με πίνακες δεδομένων προκειμένου να χαρτογραφήσει, να αναλύσει και να αξιολογήσει προβλήματα του πραγματικού κόσμου. Η λέξη κλειδί για αυτή την τεχνολογία είναι Γεωγραφία - αυτό σημαίνει ότι ένα μέρος των δεδομένων αντιπροσωπεύει χωρική πληροφορία. Με άλλα λόγια, τα δεδομένα αντιστοιχούν, με κάποιον τρόπο, σε συγκεκριμένες τοποθεσίες/σημεία πάνω στη γήινη επιφάνεια. Συνδυασμένοι με αυτά τα δεδομένα είναι συνήθως κάποιοι πίνακες δεδομένων γνωστοί ως πίνακες ιδιοτήτων. Οι πίνακες αυτοί μπορούν να οριστούν γενικά ως πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με κάθε ένα από τα χωρικά δεδομένα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα σχολεία. Η πραγματική θέση των σχολείων είναι τα χωρικά δεδομένα. Πρόσθετα στοιχεία όπως το όνομα του σχολείου, το επίπεδο της εκπαίδευσης ή ο αριθμός των μαθητών αποτελούν τις ιδιότητες και καταχωρούνται στον πίνακα ιδιοτήτων. Η αντιστοιχία και η σύνδεση αυτών των δύο τύπων δεδομένων μεταξύ τους είναι που επιτρέπει στα ΓΣΠ να είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο επίλυσης προβλημάτων χωρικής ανάλυσης. Ένα σύστημα GIS λειτουργεί σε πολλά επίπεδα. Στο πιο βασικό επίπεδο, χρησιμοποιείται ως χαρτογραφικό εργαλείο.

Η πραγματική δύναμη όμως των GIS είναι μέσω της χρήσης χωρικής πληροφορίας και στατιστικών μεθόδων για την ανάλυση χαρακτηριστικών, ιδιοτήτων και γεωγραφικών πληροφοριών. Τα ΓΣΠ και η επιστήμη της γεωγραφικής πληροφορίας που προωθεί αυτήν την τεχνολογία έχουν ισχυρή επιρροή στη χωρική ανάλυση. Η αυξημένη ικανότητα αποθήκευσης και διαχείρισης γεωγραφικών δεδομένων σημαίνει ότι η χωρική ανάλυση πραγματοποιείται

μέσα σε ένα περιβάλλον με πλούσια πληροφορία. Τα συστήματα καταγραφής γεωγραφικών δεδομένων περιλαμβάνουν συνήθως τηλεπισκοπικές απεικονίσεις, συστήματα περιβαλλοντικής παρακολούθησης και τεχνολογίες με δυνατότητες εντοπισμού θέσης όπως φορητές συσκευές που μπορούν να παρέχουν συντεταγμένες τοποθεσίας σε πραγματικό χρόνο. Τα GIS παρέχουν πλατφόρμες για τη διαχείριση αυτών των δεδομένων, υπολογίζοντας χωρικές σχέσεις όπως η απόσταση, συνδεσιμότητα και η κατεύθυνση μεταξύ των χωρικών μονάδων, καθώς και για την απεικόνιση μέσα σε ένα χαρτογραφικό πλαίσιο τόσο των ανεπεξέργαστων δεδομένων όσο και των αποτελεσμάτων χωρικής ανάλυσης.

### **1.2.1. Εφαρμογές GIS**

Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτή η τεχνολογία. Οι πιο κοινοί από αυτούς είναι:

- Χαρτογράφηση περιοχών και τοπογραφικές εργασίες
- Διαχείριση πόρων
- Έρευνες της επιφάνειας της γης
- Αρχαιολογικές χρήσεις
- Χωροταξικός σχεδιασμός και διαχείριση περιουσιακών στοιχείων
- Αστικός και περιφερειακός σχεδιασμός
- Εγκληματολογία
- Ιατρικές εφαρμογές και επιδημιολογικές μελέτες
- Μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- Δημογραφικές μελέτες

### **1.2.2. Το λογισμικό ArcMap**

Το ArcMap είναι το κύριο συστατικό της σουίτας ArcGIS της εταιρίας Esri, η οποία αφορά σε προγράμματα γεωχωρικής επεξεργασίας και χρησιμοποιείται κυρίως για την προβολή, επεξεργασία, δημιουργία και ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων. Το ArcMap επιτρέπει στο χρήστη να διερευνήσει τα δεδομένα/πληροφορίες μέσα σε ένα σύνολο δεδομένων (dataset), να συμβολίσει την κάθε χωρική οντότητα με τον ανάλογο τρόπο και να δημιουργήσει χάρτες (<http://desktop.arcgis.com/en/documentation>).

Μία λίστα από κάποιες ροές εργασίας που μπορεί να εκτελέσει ο χρήστης είναι:

- **Εργασία με χάρτες.** Ο χρήστης μπορεί να ανοίξει και να χρησιμοποιήσει αρχεία ArcMap προκειμένου να εξερευνήσει πληροφορίες, να περιηγηθεί σε ψηφιακούς χάρτες, να ενεργοποιήσει και απενεργοποιήσει θεματικά επίπεδα (layers), να θέσει ερωτήματα εκμεταλλευόμενος τους πίνακες ιδιοτήτων, και να απεικονίσει γεωγραφικές πληροφορίες.
- **Εκτύπωση χαρτών.** Δυνατότητα εκτύπωσης χαρτών, από τους πιο απλούς έως και τους πιο χαρτογραφικά εξεζητημένους.
- **Δημιουργία και επεξεργασία σετ δεδομένων.** Το ArcMap παρέχει έναν από τους κύριους τρόπους με τους οποίους οι χρήστες μπορούν να αυτοματοποιήσουν σετ δεδομένων σε μία γεωβάση. Επιπλέον, υποστηρίζει δυνατότητες πλήρους επεξεργασίας μιας γεωβάσης. Όλες οι οντότητες που τροποποιούνται και επεξεργάζονται σε κάποιο θεματικό επίπεδο (layer), αποθηκεύονται στο σετ δεδομένων στο οποίο ανήκει το εκάστοτε θεματικό επίπεδο.
- **Χρήση γεωεπεξεργασίας (Geoprocessing) για την αυτοματοποίηση εργασιών και ανάλυση.** Το GIS είναι τόσο οπτικό εργαλείο, όσο και αναλυτικό. Το ArcMap έχει τη δυνατότητα να εκτελέσει οποιοδήποτε μοντέλο γεωεπεξεργασίας ή οποιαδήποτε γραμμή εντολών (script), καθώς και να προβάλει τα αποτελέσματα μέσω της απεικόνισης σε χάρτες. Η γεωεπεξεργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση, καθώς και για την αυτοματοποίηση πολλών ενεργειών, όπως η δημιουργία τεύχους χαρτών, η επισκευή κατεστραμμένων συνδέσεων δεδομένων σε μια συλλογή αρχείων ή η εκτέλεση επεξεργασίας χωρικών δεδομένων.
- **Οργάνωση και διαχείριση γεωβάσεων και αρχείων.** Το ArcMap περιλαμβάνει το παράθυρο του ArcCatalog το οποίο επιτρέπει την οργάνωση όλων των σετ δεδομένων και των γεωβάσεων, των αρχείων χαρτών και όλων των υπόλοιπων ψηφιακών ArcGIS φακέλων, όπως και όλων των εργαλείων γεωεπεξεργασίας (tools).
- **Δημοσίευση χαρτογραφικών συνθέσεων ως υπηρεσίες χαρτών με τη χρήση του διακομιστή ArcGIS Server.** Το περιεχόμενο του ArcGIS μπορεί να γίνει προσβάσιμο από το διαδίκτυο μέσα από τη δημοσίευση γεωγραφικών πληροφοριών μέσω του ArcGIS Server. Το ArcMap προσφέρει τη δυνατότητα για δημοσίευση χαρτογραφικών συνθέσεων με απλό τρόπο, με τη μορφή διαδικτυακών υπηρεσιών (map services).
- **Κοινή χρήση χαρτών, θεματικών επιπέδων, μοντέλων γεωεπεξεργασίας, και γεωβάσεων.** Το ArcMap περιλαμβάνει εργαλεία που καθιστούν εύκολη τη δημιουργία πακέτων από σύνολα δεδομένων (data sets) και την κοινή χρήση τους με άλλους

χρήστες. Αυτό περιλαμβάνει τη δυνατότητα της κοινής χρήσης χαρτών GIS αλλά και δεδομένων με τη χρήση του ArcGIS Online.

- **Τεκμηρίωση και παρακολούθηση γεωγραφικών πληροφοριών.** Βασικός στόχος στις GIS κοινότητες είναι η περιγραφή των συνόλων γεωγραφικών πληροφοριών προκειμένου να γίνει πιο εύκολη η παρακολούθηση κάποιου project, αλλά και η αναζήτηση και ανταλλαγή δεδομένων. Χρησιμοποιώντας το παράθυρο του Catalog, είναι δυνατή η παρακολούθηση όλου του περιεχομένου χωρικής πληροφορίας. Για τους οργανισμούς που χρησιμοποιούν μεταδεδομένα που βασίζονται σε συγκεκριμένα πρότυπα, υπάρχει επίσης η δυνατότητα της τεκμηρίωσης συνόλων δεδομένων χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα επεξεργασίας ArcGIS metadata editor.
- **Προσαρμογή της εμπειρίας του χρήστη.** Το ArcMap περιλαμβάνει εργαλεία προσαρμογής, περιλαμβανομένης και της ικανότητας για δημιουργία πρόσθετων (add-ins) τα οποία μπορούν να προσθέσουν νέες λειτουργίες, να απλοποιήσουν και να εξορθολογίσουν τη διεπαφή χρήστη, και να χρησιμοποιούν γεωεπεξεργασία για την αυτοματοποίηση των εργασιών.

### **1.2.3. Η χρησιμότητα των ΓΣΠ στην απεικόνιση και διερεύνηση πετρελαιοκηλίδων από ναυτικά ατυχήματα**

Μελετώντας το ατύχημα διαρροής πετρελαίου στον Κόλπο του Μεξικού το 2010 γίνεται φανερό η αξία των ΓΣΠ στην αντιμετώπιση τέτοιων περιστατικών. Σύμφωνα με τον Jesse Theodore (Arcwatch, 2010) οι κυβερνητικές αρχές, οι εμπειρογνώμονες για το περιβάλλον αλλά και οι εμπορικές εταιρείες χρησιμοποίησαν τα ΓΣΠ για την παρακολούθηση της πετρελαιοκηλίδας και τον εντοπισμό πιθανών επιπτώσεων στους φυσικούς πόρους, συμπεριλαμβανομένης της άγριας ζωής. Η ανάλυση και τα δεδομένα των GIS βοήθησαν τους οργανισμούς και υπηρεσίες που ανταποκρίθηκαν στο ατύχημα να συνεργαστούν, καθώς αύξησαν την επίγνωση της κατάστασης κάνοντας ευκολότερη τη διοίκηση και τον έλεγχο.

Γίνεται αντιληπτό πως σε κάθε ατύχημα πετρελαιοκηλίδας το κύριο ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί είναι το «πού». Τα ΓΣΠ μπορούν να δώσουν μία ολοκληρωμένη απάντηση στο ερώτημα αυτό συσχετίζοντάς το με επιπλέον πληροφορίες όπως το μέγεθος της πετρελαιοκηλίδας και τα τοπολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Επιπλέον υποστηρίζουν δυνατότητες χωρικής και στατιστικής ανάλυσης, παρακολούθησης τάσεων και εξαγωγής προτύπων. Οι οργανισμοί και υπηρεσίες μπορούν να χρησιμοποιούν τα GIS για να λαμβάνουν καλύτερες αποφάσεις για τη διαχείριση των συνεπειών της πετρελαιοκηλίδας. Επιπλέον, η

τεχνολογία GIS υποστηρίζει τις προσπάθειες διαχείρισης του περιστατικού με την παροχή συνεχούς και αξιόπιστης πληροφόρησης σε όλους τους συμμετέχοντες, χρησιμοποιώντας μία ισχυρή κοινή επιχειρησιακή εικόνα (common operating picture-COP).

Σύμφωνα με τη μελέτη των Ivanov και Zatyagalova (2007) τα GIS έχουν αποδειχθεί ένα άριστο εργαλείο διαχείρισης και αξιολόγησης των πόρων για την αντιμετώπιση διαρροών πετρελαίου, το σχεδιασμό δράσεων και την εκτίμηση ζημιών. Η σύγχρονη προσέγγιση περιλαμβάνει την ενσωμάτωση των ΓΣΠ με τα γεωγραφικά και δορυφορικά δεδομένα. Ο συνδυασμός τους με τις τεχνολογίες SAR (Synthetic Aperture Radar) μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την αναγνώριση ή ακόμα και ταξινόμηση των πετρελαιοκηλίδων. Οι Martin, LeBoeuf, Daniel, Dobbins και Abkowitz (2004) χρησιμοποίησαν τα ΓΣΠ ως βάση προκειμένου να δημιουργήσουν ένα Σύστημα Πληροφοριών για τη Διαχείριση των Διαρροών (Spill Management Information System - SMIS). Το SMIS είναι ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων που αποσκοπεί στην αποτελεσματική διαχείριση των κινδύνων που συνδέονται με την τυχαία ή σκόπιμη απόρριψη επικίνδυνων ουσιών, όπως πετρελαιοειδή, σε ποτάμια της ενδοχώρας. Παρόμοιο εργαλείο με το SMIS ανέπτυξε στη μελέτη του και ο Gomes (2010). Το σύστημα καταγραφής πετρελαιοκηλίδων ή αλλιώς Oil Spill Emergency Mapping System (OSEMS) επιχειρεί να εφαρμόσει το εμπορικά διαθέσιμο ArcGIS Server για να αναπτύξει ένα διαδραστικό Web-GIS σύστημα χαρτογράφησης πετρελαιοκηλίδων έκτακτης ανάγκης. Η εφαρμογή αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας ArcGIS API για JavaScript. Το σύστημα αξιολογήθηκε για την ευχρηστία του μέσα από ένα ερωτηματολόγιο, το οποίο ενσωματώνει πραγματικά σενάρια ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας και η αξιολόγηση έδειξε ότι το OSEMS είναι πολύ χρήσιμο για την αντιμετώπιση διαρροών πετρελαίου και, επίσης, απέδειξε ότι η ενσωμάτωση των GIS και JavaScript είναι αποτελεσματική.

### **1.3. Προηγούμενες μελέτες σχετικές με τη διερεύνηση πετρελαιοκηλίδων.**

#### **1.3.1. Spatial analysis of oil spills from marine accidents in Greek waters (Giziakis, Kanellopoulos, Gialoutsi, 2013)**

Η έρευνα αυτή έγινε από το τμήμα των θαλάσσιων μελετών του Πανεπιστημίου του Πειραιά. Έχει ως στόχο να εξετάσει την εφαρμογή ενός πλαισίου ανάλυσης για την πετρελαϊκή ρύπανση από πλοία (λόγω ατυχήματος αλλά και επιχειρησιακή) με τη χρήση χωρικής ανάλυσης και των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών. Κάνει χρήση των δεδομένων που συλλέχθηκαν από θαλάσσια ατυχήματα που συνέβησαν από το 2001 έως το 2011 στα ελληνικά θαλάσσια ύδατα.

Η ανάλυση των θεματικών χαρτών εισάγει αρχικά τα δεδομένα των θαλάσσιων ατυχημάτων ως σημειακά αντικείμενα σε ένα χάρτη. Στη συνέχεια, το πρόβλημα προσεγγίζεται μέσω της διαδικασίας της χωρικής ανάλυσης προκειμένου να γίνει η χαρτογράφηση αυτών των ατυχημάτων, συμπεριλαμβανομένων περιοχών «θερμών σημείων». Αυτό γίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε η συχνότητα και πυκνότητα μπορεί να εμφανιστούν ως προς το χρόνο σε μια περιορισμένη γεωγραφική περιοχή. Αυτή η μελέτη παρουσιάζει τη διανομή των πετρελαιοκηλίδων στα Ελληνικά θαλάσσια ύδατα μέσω θεματικών χαρτών και προτείνει τόσο ένα μεθοδολογικό όσο και αναλυτικό πλαίσιο για τα θαλάσσια ατυχήματα τα οποία εξελίσσονται σε πετρελαιοκηλίδες, συνδυάζοντας τεχνικές GIS και χωρική ανάλυση.

### **1.3.2. Determinants of vessel accident bunker spills (Talley, Leung and Jin, 2012)**

Η εργασία διερευνά τους καθοριστικούς παράγοντες της διαρροής καυσίμων από δεξαμενές πλοίων τα οποία δεν μεταφέρουν πετρελαιοειδή. Ο αριθμός των περιστατικών είναι συνάρτηση του τύπου του πλοίου, του τύπου της γάστρας, των δεξαμενών καυσίμων, της ορατότητας κατά τη στιγμή του ατυχήματος, του είδους του ατυχήματος και της κατάστασης λειτουργίας του πλοίου εκείνη την περίοδο. Η σχέση υπολογίζεται χρησιμοποιώντας παλινδρόμηση και με χρήση λεπτομερών δεδομένων των ατυχημάτων, τα οποία ερευνήθηκαν από την Αμερικανική Ακτοφυλακή κατά το χρονικό διάστημα 8 ετών, από το 2001 έως το 2008. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμων διαρρέει από τα πλοία όταν αυτά εγκαταλείπονται, όταν το ατύχημα συμβεί κατά τη διάρκεια της νύχτας και όταν το σκάφος είναι ακυβέρνητο. Τα εμπορικά πλοία και τα σκάφη ανεφοδιασμού χύνουν περισσότερα καύσιμα σε σχέση με τα επιβατηγά πλοία. Όπως ήταν αναμενόμενο, το μέγεθος της διαρροής από ένα ατύχημα ενός μη-πετρελαιοφόρου πλοίου είναι μικρότερο από το μέγεθος της πετρελαιοκηλίδας που θα δημιουργηθεί από ένα από ένα ατύχημα στο οποίο εμπλέκεται κάποιο δεξαμενόπλοιο.

### **1.3.3. Long term monitoring of oil spills in European seas (Ferraro, Meyer-Roux, Muellenhoff, Pavliha, Svetak, Tarchi and Topouzelis, 2009)**

Η θαλάσσια ρύπανση λόγω ατυχημάτων μπορεί να μειωθεί αλλά ποτέ δεν πρόκειται να εξαλειφθεί εντελώς. Ωστόσο οι σκόπιμες παράνομες απορρίψεις από τα πλοία μπορούν να μειθούν με την αυστηρή εφαρμογή των υπαρχόντων κανονισμών, τον έλεγχο και την επιτήρηση της θαλάσσιας κυκλοφορίας. Παρόλα αυτά, οι λειτουργικές απορρίψεις αποτελούν

την κύρια αιτία της θαλάσσιας ρύπανσης από τα πλοία. Για να αναλύσει αυτό το πρόβλημα, το Joint Research Centre (JRC) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, έχει εστιάσει την προσοχή του στην ανάγκη για την μακροπρόθεσμη παρακολούθηση της θαλάσσιας ρύπανσης από πετρέλαιο. Η έρευνα αυτή αποσκοπεί στη χαρτογράφηση των πετρελαιοκηλίδων, στον προσδιορισμό των θερμών σημείων και στον καθορισμό τάσεων για όλες τις ευρωπαϊκές θάλασσες. Για το λόγο αυτό, το JRC έχει συλλέξει όλα τα σχετικά δεδομένα που αφορούν την πετρελαϊκή ρύπανση από διαφορετικούς οργανισμούς και αρχεία. Για τη Βόρεια και τη Βαλτική Θάλασσα, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από εναέρια επιτήρηση. Τα δεδομένα για τη Μεσόγειο και τη Μαύρη Θάλασσα προέρχονται από πετρελαιοκηλίδες οι οποίες ανιχνεύθηκαν από το JRC από δορυφορικές εικόνες χαμηλής ανάλυσης SAR (Synthetic Aperture Radar). Για τη Μεσόγειο και τη Μαύρη Θάλασσα, τα δεδομένα αυτά αποτελούν τη μόνη πηγή για να εξαχθούν κάποια προκαταρκτικά συμπεράσματα σχετικά με τη θαλάσσια ρύπανση από το πετρέλαιο. Η εργασία παρουσιάζει μια ολοκληρωμένη άποψη της μακροπρόθεσμης παρακολούθησης της θαλάσσιας ρύπανσης από πετρέλαιο σε όλες τις θάλασσες γύρω από την Ευρώπη.

#### **1.3.4. Visualization of spatial patterns and temporal trends for aerial surveillance of illegal oil discharges in western Canadian marine waters (Canessa, O'Hara, Keller, Pelot and Serra-Sogas, 2008)**

Η εργασία αυτή εξετάζει τη χρήση της έρευνας μέσω χωρικής ανάλυσης για τον προσδιορισμό των θερμών περιοχών (hotspots) ρύπανσης από πετρέλαιο που οφείλεται σε πλοία, στην Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη του Καναδά στην περιοχή του Ειρηνικού. Κάνει χρήση των δεδομένων που συλλέχθηκαν την περίοδο 1997/1998 έως 2005/2006 από το Πρόγραμμα Εθνικής εναέριας επιτήρησης, το κύριο εργαλείο για την παρακολούθηση και την εφαρμογή των διατάξεων που επιβάλλονται από το MARPOL 73/78. Αρχικά, παρουσιάζονται τα δεδομένα πετρελαιοκηλίδων ως σημεία σε ένα χάρτη. Στη συνέχεια, διερευνάται η ένταση των γεγονότων ρύπανσης από πετρελαιοκηλίδες χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Quadrat Count και Kernel Density Estimation. Βρέθηκε ότι οι θερμές περιοχές διαχωρίζονται με περισσότερη σαφήνεια με τη χρήση Kernel Density Estimation, πιθανώς λόγω των συγκεντρωμένων ανά περιοχές περιστατικών πετρελαιοκηλίδας. Επιπλέον, συζητείται η σημασία της τυποποίησης των δεδομένων πετρελαιοκηλίδας για την καλύτερη κατανόηση της κατανομής των παράνομων απορρίψεων, και πώς αυτά τα αποτελέσματα μπορούν τελικά να ωφελήσουν ένα πρόγραμμα επιτήρησης.

### **1.3.5. Aerial Surveillance of Operational Oil Pollution in Belgium's Maritime Zone of Interest (Volckaert, Kayen, Schallier and Jacques, 2000)**

Η θαλάσσια ζώνη ενδιαφέροντος του Βελγίου ερευνήθηκε τακτικά μεταξύ του 1991 και του 1995 από αεροσκάφη τηλεπισκόπησης με στόχο τον εντοπισμό λειτουργικών απορρίψεων πετρελαίου. Ταυτόχρονα καταγράφηκε η ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου ενώ το ύψος κύματος λήφθηκε από τη βιβλιογραφία. Συνολικά, 228 διαρροές διαφόρων μεγεθών, όγκων και προέλευσης αναλύθηκαν μέσω μονοπαραγοντικής στατιστικής ανάλυσης. Τεκμηριώθηκε έτσι ότι οι παρατηρούμενες πετρελαιοκηλίδες ήταν γενικά επιμήκεις, στενές και λεπτές, ότι οι διαστάσεις της διαρροής είχαν αλληλοσυσχέτιση, και ότι η ταχύτητα του ανέμου και το ύψος των κυμάτων επηρεάζουν αυτές τις διαστάσεις. Ένα μεγάλο ποσοστό της διαφοροποίησης ωστόσο, θα μπορούσε να αποδοθεί στο πάχος της κηλίδας. Βρέθηκε ότι η πηγή της διαρροής περισσότερο από ότι η υδροδυναμική της θάλασσας καθορίζει τα χαρακτηριστικά της πετρελαιοκηλίδας. Λαμβάνοντας υπόψη τον αντίκτυπο των πετρελαιοκηλίδων στη θαλάσσια ζωή, θα πρέπει να δοθεί συνεχής προσοχή στα μέτρα παρακολούθησης και ελέγχου της ρύπανσης από πετρελαιοκηλίδες.

### **1.3.6. Προσομοίωση τύχης πετρελαιοκηλίδας μετά από ναυτικό ατύχημα στο Αιγαίο (Παπαδάτος, 2013)**

Η εργασία έγινε από τον τομέα μελέτης πλοίου και θαλασσιών μεταφορών της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ. Στα πλαίσια της εν λόγω εργασίας γίνεται μία πιθανοθεωρητική ανάλυση ενός ατυχήματος με την βοήθεια του προγράμματος MEMW-OSCAR. Το OSCAR είναι ένα πρόγραμμα που προσομοιώνει την τύχη και την γήρανση του πετρελαίου όταν αυτό διαρρεύσει στην θάλασσα, και υπολογίζει τις πιθανές βιολογικές επιδράσεις. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η ανάδειξη της τύχης μίας πετρελαιοκηλίδας μετά από ένα ναυτικό ατύχημα στον ελλαδικό χώρο. Αρχικά αναφέρονται τα χαρακτηριστικά του πετρελαίου που επηρεάζουν την συμπεριφορά του στην θάλασσα καθώς και όλες οι διαδικασίες γήρανσης του. Με την βοήθεια του προγράμματος Oscar γίνεται μία προσομοίωση για το ατύχημα του κρουαζιερόπλοιου Sea Diamond, ενώ στην συνέχεια κατασκευάζεται ένα μοντέλο για ένα υποθετικό ατύχημα ενός πλοίου tanker Suezmax στο Αιγαίο. Με την ολοκλήρωση της προσομοίωσης των μοντέλων του Sea Diamond και του tanker Suezmax διαμορφώνεται μία ξεκάθαρη εικόνα των πιθανών επιπτώσεων. Στην περίπτωση του Sea Diamond αναμένεται η μεγαλύτερη ποσότητα πετρελαίου να καταλήξει στον όρμο Αθηνιό με συχνότητα κατάληξης περίπου 60%. Αντίστοιχα στην περίπτωση του tanker Suezmax η



μεγαλύτερη ποσότητα πετρελαίου αναμένεται στην Χίο, αλλά η περιοχή με την μεγαλύτερη συχνότητα κατάληξης του πετρελαίου είναι τα Ψαρά, περίπου 63%.

### **1.3.7. Μοντέλο τύχης/γήρανσης κηλίδων πετρελαίου (Χαντζηκωνσταντίνου, Κορρός, 2008)**

Η εργασία έγινε από τον τομέα μελέτης πλοίου και θαλάσσιων μεταφορών της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ και περιλαμβάνει δύο τεύχη: το τεύχος Α από τον Κορρό Κωνσταντίνο και το τεύχος Β από τον Χαντζηκωνσταντίνου Αρχοντή.

Στο τεύχος Α παρουσιάζονται οι μηχανισμοί που υιοθετούνται από διάφορα μοντέλα προσομοίωσης πετρελαιοκηλίδων, οι οποίοι περιγράφουν τις διάφορες φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά μιας πετρελαιοκηλίδας. Ο χρόνος ζωής και η συμπεριφορά της πετρελαιοκηλίδας, μπορούν να επηρεαστούν από εννέα φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες (διεργασίες γήρανσης πετρελαιοκηλίδας), οι οποίες είναι οι εξής: η μετατόπιση, η εξάπλωση, η εξάτμιση, η γαλακτωματοποίηση, η διασπορά, η διάλυση, η οξειδωση, η βιοαποικοδόμηση και η ιζηματοποίηση / καταβύθιση. Επιπλέον, αναπτύσσονται μαθηματικά μοντέλα διαφόρων βαθμών εξέλιξης και διαφορετικές προσεγγίσεις για τις διεργασίες της γήρανσης, κάποια εκ των οποίων περιλαμβάνονται σε σύνθετα μοντέλα προσομοίωσης συμπεριφοράς πετρελαιοκηλίδας, τα οποία κατασκευάστηκαν με στόχο να προσφέρουν περισσότερο ακριβείς προβλέψεις. Για να κατανοηθούν σε βάθος αυτοί οι μηχανισμοί μοντελοποίησης, η συγκεκριμένη εργασία παραθέτει τα αντίστοιχα μαθηματικά μοντέλα για κάθε μία από τις προαναφερθείσες διεργασίες της γήρανσης. Τα συγκεκριμένα μοντέλα (αλγόριθμοι), συγκρίνονται με δεδομένα που προέκυψαν από ποικίλες πειραματικές μελέτες πετρελαιοκηλίδων και γενικά έχουν δώσει καλές εκτιμήσεις της συμπεριφοράς αυτών. Τα μοντέλα απαιτούν λεπτομερή δεδομένα ιδιοτήτων πετρελαίου, τις περιεκτικότητες σε ασφαλτίνη, δεδομένα από τις καμπύλες διύλισης πετρελαίων και σχέσεις πυκνότητας-σύστασης. Τέτοιες πληροφορίες είναι σήμερα διαθέσιμες για ένα μεγάλο εύρος αργών πετρελαίων.

Στο τεύχος Β παρουσιάζεται το SpillSolver, ένα πρόγραμμα που κατασκευάστηκε με το εργαλείο ΟΔΗΓΟΣ ΤΟΥ MATLAB, εργαλείο που χρησιμοποιείται για τη κατασκευή και το προγραμματισμό γραφικών διεπαφών χρήστη (Graphical User Interface). Το SpillSolver δέχεται ως δεδομένα διάφορες παραμέτρους και εξάγει αποτελέσματα και γραφήματα για τις κύριες διεργασίες της γήρανσης μιας πετρελαιοκηλίδας. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι, όχι

μόνο το να φτιάξει άλλο ένα υπολογιστικό πρόγραμμα για τη μελέτη της γήρανσης της πετρελαιοκηλίδας, αλλά να βοηθήσει στην περαιτέρω ανάπτυξή τους. Για το λόγο αυτό, περιλαμβάνει διεργασίες, όπως η φωτοξείδωση και η ιζηματοποίηση, που δεν έχουν μοντελοποιηθεί από σχεδόν κανένα άλλο υπολογιστικό πακέτο, είναι όμως πολύ σημαντικές. Η σημασία τους έγκειται στο ότι, παρόλο που δεν έχουν άμεσο αντίκτυπο στην γήρανση, είναι πολύ σημαντικές, γιατί η επίδρασή τους στη μόλυνση του περιβάλλοντος είναι τεράστια.

## **2. ΣΤΟΧΟΙ ΕΡΓΑΣΙΑΣ -ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ-ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

### **2.1. Στόχοι**

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η απεικόνιση και στατιστική ανάλυση/μοντελοποίηση των ναυτικών ατυχημάτων που έχουν συμβεί στον ελληνικό θαλάσσιο χώρο και σχετίζονται με τη δημιουργία πετρελαιοκηλίδας. Με την εισαγωγή των δεδομένων σε περιβάλλον ΓΣΠ και με τη χρήση των εργαλείων της χωρικής ανάλυσης, θα τεθούν συγκεκριμένα χωρικά ερωτήματα (όπως σε ποια περιοχή έχουν συμβεί τα περισσότερα ατυχήματα με αποτέλεσμα τη διαρροή πετρελαίου άνω των 50 τόνων) και κατόπιν θα παραχθούν χάρτες οι οποίοι απεικονίζουν περιοχές και τάσεις με αυξημένη επικινδυνότητα (αναφορικά με το επιλεγμένο πρόβλημα). Επιπλέον θα γίνει προσπάθεια για δημιουργία χαρτών δυναμικά μεταβαλλόμενων με την κλίμακα του χρόνου και εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων που μπορούν να συμβάλλουν στην επιτυχή αντιμετώπισή της.

### **2.2. Περιοχή μελέτης**

Η Μεσόγειος Θάλασσα, μία θάλασσα "στη μέση της γης", όπως φανερώνει και το όνομά της, απλώνεται ανάμεσα στην Ευρώπη, την Ασία και την Αφρική και έχει έκταση 2,5 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα. Έχει δύο βασικές λεκάνες Ανατολικά και Δυτικά της Σικελίας, που διαχωρίζονται από ένα χώρισμα βάθους 330 μόνο μέτρων. Η επικοινωνία της με τον Ατλαντικό Ωκεανό γίνεται από τα στενά του Γιβραλτάρ, με την Θάλασσα του Μαρμαρά από τα στενά των Δαρδανελίων και με την Ερυθρά Θάλασσα από τη Διώρυγα του Σουέζ. Οι διαστάσεις της Μεσογείου είναι 3.800 χιλιόμετρα κατά την διεύθυνση Ανατολή - Δύση, και μόλις 900 χιλιόμετρα κατά την διεύθυνση Βορράς - Νότος. Το μέσο βάθος της είναι 1.429 μέτρα ενώ το μέγιστο βάθος της βρίσκεται στα Κύθηρα και ξεπερνά τα 5.000 μέτρα. Η επιφάνεια της θάλασσας είναι χαμηλότερη από αυτή του Ατλαντικού Ωκεανού και χαμηλώνει επίσης από το Γιβραλτάρ προς το Βόρειο Αιγαίο κατά 80 περίπου εκατοστά. Συνολικά έχουν καταγραφεί στη Μεσόγειο περίπου 10.000 είδη, από τα οποία 8.500 είναι ζώα και 1.500 φυτά. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι περίπου το 20% αυτών των ειδών είναι ενδημικά (Παναγιωτίδης, 2005). Η Μεσόγειος θεωρείται ως μία από τις περιοχές με το μεγαλύτερο κίνδυνο ρύπανσης. Το γεγονός ότι είναι μία κλειστή θάλασσα όπου περιορίζεται η κυκλοφορία των νερών, αλλά και το ότι μέσα σε αυτή βρίσκονται πολλά νησιά, βραχονησίδες, στενά αλλά και πολυσύχναστες

θαλάσσιες λεωφόροι αυξάνει το συντελεστή επικινδυνότητας για καταστροφή του φυσικού περιβάλλοντος.



Εικόνα 2.1 : Δορυφορική απεικόνιση της Μεσογείου Θάλασσας

Εντός της Μεσογείου, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει ο ελληνικός θαλάσσιος χώρος, είτε λόγω της ιδιαίτερης γεωστρατηγικής του σημασίας, είτε λόγω της βιοποικιλότητας και ποικιλομορφίας που τον χαρακτηρίζει. Μελετώντας τον ελληνικό θαλάσσιο χώρο, θα διαπιστώσει κάποιος ότι η Ελλάδα περιβάλλεται από το Αιγαίο Πέλαγος και το Ιόνιο Πέλαγος. Στο Αιγαίο Πέλαγος αναγνωρίζονται μικρότερα πελάγη, όπως το Θρακικό, το Μυρτώο, το Ικάριο, το Καρπάθιο, το Κρητικό και το Λιβυκό (Κουσιόπουλος, 2011). Πρόκειται για έναν ιδιαίτερο χώρο με μοναδική φυσιογνωμία, ο οποίος χαρακτηρίζεται από πολλά νησιά και βραχονησίδες, κόλπους, λιμνοθάλασσες και πληθώρα από οικοσυστήματα, πολλά από τα οποία δεν απαντώνται αλλού στον κόσμο.

Οι ελληνικές θάλασσες αποτελούν υδάτινα συστήματα τα οποία χαρακτηρίζονται από ποικιλία συνθηκών σε όλη την έκταση και το βάθος τους. Η πολυμορφία των συνθηκών οδήγησε στην ανάπτυξη εξαιρετικής ποικιλίας οικοσυστημάτων στα οποία ζουν οργανισμοί προσαρμοσμένοι στις ιδιαιτερότητες και απαιτήσεις του κάθε περιβάλλοντος. Τα θαλάσσια οικοσυστήματα διακρίνονται κυρίως με βάση βαθυμετρικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά καθώς και από τον τύπο του βυθού (βραχώδη, αμμώδη, λυώδη υποστρώματα). Έτσι αναφέρονται τα οικοσυστήματα των αβαθών κόλπων, οι αμμοσύρτιες, οι εκβολές ποταμών και οι ύφαλοι. Ιδιαίτερης σημασίας είναι τα λιβάδια Ποσειδωνίας, που απαντούν κυρίως σε μαλακό αλλά και σε σκληρό υπόστρωμα. Η θαλάσσια βιοποικιλότητα εκτιμάται σε περίπου 2500 ζωικά και 450 φυτικά είδη του βένθους, ενώ στο πλαγκτόν έχουν αναφερθεί 350 περίπου είδη ζώων και 335

φυτών. Γενικά η Μεσόγειος περιλαμβάνεται στις 25 πλουσιότερες εστίες αυξημένης βιοποικιλότητας του πλανήτη. Η προέλευση των ειδών της (όπως και εκείνη των Ελληνικών νερών) είναι κατά ένα μεγάλο ποσοστό Ατλαντική. Είναι όμως χαρακτηριστική η έντονη παρουσία ενδημικών ειδών (περίπου 20 %). Η εικόνα συμπληρώνεται από είδη κοσμοπολιτικά και είδη του Ινδικού Ωκεανού. Η παρουσία των τελευταίων οφείλεται στη πρόσφατη διείσδυσή τους μέσω του Σουέζ (Nittis, 2012).

Ένα άλλο χαρακτηριστικό της θαλάσσιας βιοποικιλότητας της χώρας μας είναι η αυξημένη συμμετοχή σπάνιων ειδών. Η συντριπτική πλειονότητα των θαλάσσιων ειδών κατοικεί στη στήλη του νερού και το βυθό της υφαλοκρηπίδας (βάθη μικρότερα από 200 μέτρα). Στα βαθύτερα νερά παρατηρείται δραματική μείωση του αριθμού τους, με παράλληλη μείωση της αφθονίας, βιομάζας και του μεγέθους τους. Λόγω της συγκέντρωσης της βιοποικιλότητας στα ρηχότερα νερά, που είναι εκείνα που κυρίως υφίστανται τις ανθρωπογενείς πιέσεις, η λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων αποκτά πρωταρχική προτεραιότητα.



Εικόνα 2.2: Ο Ελληνικός θαλάσσιος χώρος

### **2.3. Δεδομένα**

Τα δεδομένα που αφορούν στα ναυτικά ατυχήματα τα οποία συνέβησαν στον ελληνικό θαλάσσιο χώρο προέρχονται από το Περιφερειακό Κέντρο Έκτακτης Αντιμετώπισης της Θαλάσσιας Ρύπανσης για τη Μεσόγειο Θάλασσα (Regional Marine Pollution Emergency Response Centre for the Mediterranean Sea - REMPEC). Το κέντρο ιδρύθηκε το 1976 με απόφαση των συμβαλλομένων μερών, με την εντολή να διευκολύνει τη συνεργασία των

παράκτιων κρατών της Μεσογείου στην καταπολέμηση της εκτεταμένης θαλάσσιας ρύπανσης από το πετρέλαιο και τη δημιουργία ενός περιφερειακού συστήματος πληροφοριών με σκοπό την αντιμετώπιση των έκτακτων περιστατικών θαλάσσιας ρύπανσης.

Τα ναυτικά ατυχήματα, σε μορφή υπολογιστικού φύλλου (excel), αφορούν στη χρονική περίοδο από το 1979 έως το 2014. Ο συνολικός αριθμός των θαλάσσιων ατυχημάτων καταγεγραμμένων από το REMPEC ανέρχεται σε διακόσια ογδόντα (280), ενώ από αυτά, τα εκατόν τέσσερα (104) σχετίζονται με περιστατικά ρύπανσης της θάλασσας λόγω διαρροής πετρελαίου. Μέσω του λογισμικού ArcCatalog έγινε η εισαγωγή τους σε μία γεωγραφική βάση δεδομένων (γεωβάση) προκειμένου να εκτελεστεί περαιτέρω επεξεργασία.

Εκτός από τα δεδομένα ναυτικών ατυχημάτων, στην εργασία χρησιμοποιήθηκαν και διανυσματικά (vector) δεδομένα που αντιπροσωπεύουν ευαίσθητες περιοχές και περιοχές ιδιαίτερης αξίας. Οι περιοχές αυτές μεταφορτώθηκαν σε μορφή shapefile από τον ιστότοπο του Υπουργείου Παραγωγικής Ανασυγκρότησης Περιβάλλοντος και Ενέργειας, και είναι οι εξής:

- **Περιοχές Natura 2000.** Το Natura 2000 (*Φύση 2000*) είναι ένα πανευρωπαϊκό δίκτυο προστασίας των ειδών και των ενδιαιτημάτων τους. Αποτελεί ένα από τα πιο φιλόδοξα ευρωπαϊκά προγράμματα για την προστασία της φύσης και ακρογωνιαίο λίθο της πολιτικής της Ε.Ε. για τη διατήρηση της φύσης. Ιδρύθηκε τον Μάιο του 1992 με την υιοθέτηση της οδηγίας των οικοτόπων η οποία συμπληρώνει την οδηγία για τα πουλιά (79/409/ΕΟΚ) και από κοινού αποτελούν την νομική βάση του δικτύου.

- **Προστατευόμενες περιοχές από διεθνείς συνθήκες (Barcelona, Biogen, Biosphere, Diploma, MPK).** Συνθήκες που στοχεύουν στην προστασία και διαχείριση του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

- **Καταφύγια άγριας ζωής.** Ως Καταφύγια Άγριας Ζωής χαρακτηρίζονται φυσικές περιοχές (χερσαίες, υγροτοπικές ή θαλάσσιες), που έχουν ιδιαίτερη σημασία ως σημαντικοί τόποι ανάπτυξης της άγριας χλωρίδας ή ως βιότοποι αναπαραγωγής, διατροφής, διαχείμασης ειδών της άγριας πανίδας, ή ως περιοχές αναπαραγωγής ψαριών και συγκέντρωσης γόνου, ή, τέλος, ως σημαντικοί θαλάσσιοι οικοτόποι. Ως Καταφύγια Άγριας Ζωής μπορούν να χαρακτηρίζονται και οι οικολογικοί διάδρομοι μεταξύ άλλων κατηγοριών προστατευόμενων περιοχών.

- **Εθνικά Πάρκα και Εθνικοί Δρυμοί.** Οι Εθνικοί Δρυμοί περιλαμβάνουν δασικές περιοχές οι οποίες παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον από άποψη διατήρησης της αυτοφυούς χλωρίδας και της άγριας πανίδας, των γεωμορφολογικών σχηματισμών, του υπεδάφους, της

ατμόσφαιρας, των νερών και γενικά του φυσικού περιβάλλοντος. Αποτελούνται συνήθως από μία περιοχή απόλυτης προστασίας, και από μία προστατευτική περιφερειακή ζώνη. Ορισμένες από τις δραστηριότητες που απαγορεύονται στους πυρήνες Εθνικών Δρυμών είναι η βιομηχανία, η εγκατάσταση οικισμών, οικιών, αγροικιών και παραπηγμάτων, η βόσκηση, η υλοτομία, η θήρα, η κοπή, το ξερίζωμα, η συλλογή φυτών κλπ. Ο όρος «Εθνικός Δρυμός» αρχικά επικράτησε στη χώρα μας αντί του «Εθνικού Πάρκου», που ισχύει διεθνώς. Δρυμός σημαίνει «δάσος δρυών», καθώς και «δασωμένη περιοχή, που καλύπτεται από άγρια βλάστηση».

- **Ακτές με γαλάζια σημαία.** Οι Γαλάζιες Σημαίες (Blue Flags) είναι ένα σύμβολο ποιότητας που απονέμεται σε οργανωμένες ακτές και μαρίνες διαχειριζόμενες από παράκτιους δήμους, ξενοδόχους ή και άλλους φορείς, με βάση αυστηρά κριτήρια. Πρόκειται για ένα εθελοντικό πρόγραμμα που αποτελεί μία πρότυπη περιβαλλοντική δράση για ακτές με μεγάλο αριθμό λουόμενων. Τα κριτήρια για τη βράβευση μιας παραλίας ή μαρίνας χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες. Αυτές είναι: α) η περιβαλλοντική εκπαίδευση και πληροφόρηση, β) η ποιότητα νερών κολύμβησης, γ) η περιβαλλοντική διαχείριση και δ) η ασφάλεια, τα ναυαγοσωστικά μέσα, οι πρώτες βοήθειες, οι υπηρεσίες και εγκαταστάσεις.

- **Λοιποί τόποι περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος, ιδιαίτερου κάλλους και τόποι ιστορικής αξίας.** Περιλαμβάνονται μνημεία (φυσικά, γεώτοποι, πολιτισμικά, θρησκευτικά) και ιστορικοί τόποι, καθώς και τοπία ιδιαίτερου φυσικού κάλλους.



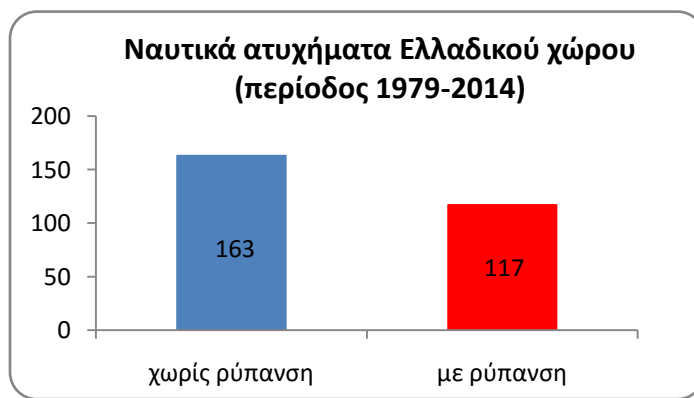


### 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία των δεδομένων τα οποία αφορούν στα ατυχήματα πλοίων τα οποία συνέβησαν εντός του ελλαδικού χώρου και είχαν ως επακόλουθο τη ρύπανση της θάλασσας μέσα από τη διαρροή πετρελαιοειδών και τη δημιουργία πετρελαιοκηλίδας. Όλα τα καταγεγραμμένα ατυχήματα από το REMPEC διαχωρίστηκαν αρχικά στα ατυχήματα που δεν προκάλεσαν ρύπανση του θαλασσίου χώρου και στα ατυχήματα που προκάλεσαν ρύπανση. Από τα ατυχήματα που προκάλεσαν ρύπανση, τα περισσότερα αφορούσαν διαρροή πετρελαίου και τα υπόλοιπα συνδέονταν με διαρροή χημικών ουσιών. Σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) έγινε η απεικόνιση και στατιστική ανάλυση/μοντελοποίηση των ατυχημάτων αυτών και παρήχθησαν χάρτες οι οποίοι συμβάλλουν στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων. Τα GIS, όπως θα γίνει φανερό και στη συνέχεια, αποδεικνύονται ιδιαίτερα χρήσιμα για τη διεξαγωγή τέτοιου είδους αναλύσεων, καθώς όχι μόνο έχουν τη δυνατότητα της χωρικής απεικόνισης των υπό μελέτη δεδομένων, αλλά επιπρόσθετα, εκμεταλλεύονται τον πίνακα ιδιοτήτων κάθε θεματικής ενότητας προκειμένου να εφαρμόσουν εργαλεία στατιστικής και χωρικής ανάλυσης αναφορικά με συγκεκριμένες ιδιότητες όπως ο τύπος πλοίων, το μέγεθος της διαρροής, η ημερομηνία του ατυχήματος κ.α.

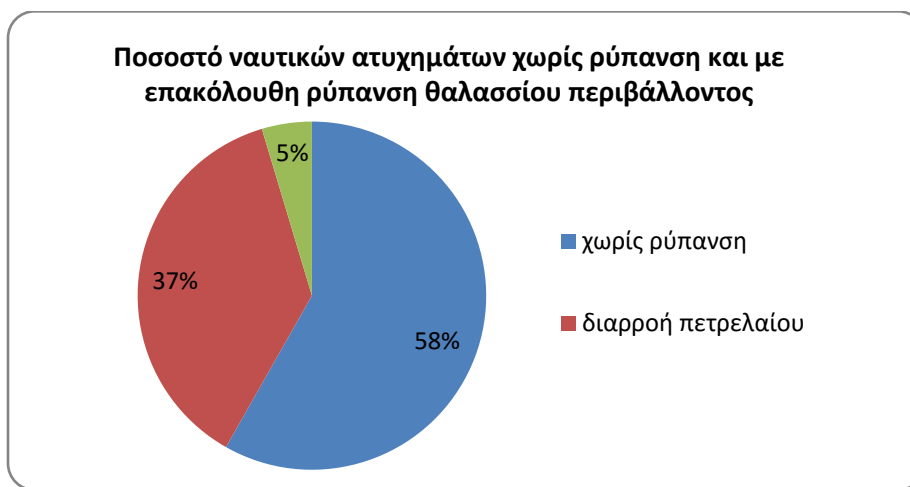
#### 3.1. Στατιστική Ανάλυση

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2, από το σύνολο των 280 ναυτικών ατυχημάτων που συνέβησαν στον ελλαδικό χώρο, τα 163 ατυχήματα δεν προκάλεσαν κάποιου είδους ρύπανση ενώ τα υπόλοιπα 117 συνοδεύτηκαν από διαρροή ρυπογόνων ουσιών. Από αυτά, τα 104 αφορούσαν διαρροή πετρελαιοειδών και τα υπόλοιπα 13 αφορούσαν διαρροή χημικών.



Διάγραμμα 3.1 : Ναυτικά ατυχήματα

Ποσοστιαία δηλαδή, το 42% του συνόλου των ατυχημάτων συνοδεύτηκε από κάποιου είδους διαρροή :



Διάγραμμα 3.2 : Ποσοστό ατυχημάτων με και χωρίς ρύπανση

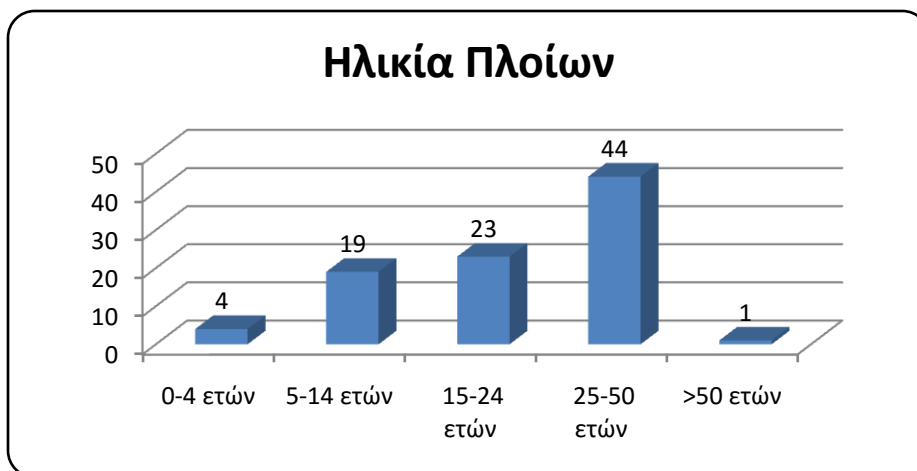
### 3.1.1. Ηλικία Πλοίων σε Ατυχήματα με Διαρροή Πετρελαίου

Σύμφωνα με την European Maritime Safety Agency (EMSA) για το έτος 2014 τα σκάφη του παγκόσμιου στόλου ανήκαν στις ακόλουθες ηλικιακές ομάδες :

Ηλικία σε έτη	Ποσοστό επί παγκόσμιου στόλου
0 - 4	17,7%
5 – 14	31,6%
15 – 24	18,2%
> 25	32,5%

Πίνακας 3.1 : Ηλικίες πλοίων (Πηγή: EMSA)

Με το ίδιο σκεπτικό και μελετώντας τα δεδομένα για τα ατυχήματα στον ελληνικό θαλάσσιο χώρο, προκειμένου να εξαχθεί πληροφορία για την ηλικία των πλοίων, δημιουργήθηκαν οι ακόλουθες 5 ηλικιακές ομάδες : από 0-4 ετών, από 5-14 ετών, από 15-24 ετών, από 25-50 ετών, και πλοία μεγαλύτερα των 50 ετών, και τα σκάφη κατατάχθηκαν ανάλογα σε κάθε κατηγορία (για 13 σκάφη δεν υπήρχε πληροφορία για την ηλικία τους) .



Διάγραμμα 3.3 : Ηλικίες πλοίων

Από τα διαγράμματα 3.3 και 3.4 βγαίνει το συμπέρασμα πως τα περισσότερα πλοία (44 σε αριθμό) τα οποία έπαθαν κάποιο ατύχημα το οποίο είχε ως συνέπεια τη δημιουργία πετρελαιοκηλίδας είναι ηλικίας 25-50 ετών.



Διάγραμμα 3.4 : Ποσοστά ηλικιακής κατανομής πλοίων

Με λίγα λόγια, τα σκάφη που είναι παλαιότερα των 25 ετών αντιπροσωπεύουν το 32,5% του παγκόσμιου στόλου ενώ ταυτόχρονα ευθύνονται για το 49% των ατυχημάτων. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί πως το ποσοστό για τα σκάφη μεγαλύτερα των 50 χρόνων είναι μόλις 1%. Αυτό συμβαίνει επειδή σκάφη τέτοιας ηλικίας σπανίως υπάρχουν. Συνήθως πλοία γηραιότερα των 30 ετών είτε είναι ανενεργά είτε οδηγούνται προς διάλυση. Μάλιστα, ο μέσος όρος ηλικίας του παγκόσμιου στόλου είναι τα 12,8 έτη ενώ σύμφωνα με την *clarksons research*, για το χρονικό διάστημα από το 1996 έως το 2014 η μέση ηλικία των πλοίων προς διάλυση ήταν μεταξύ 25 και 30 ετών.

### 3.1.2. Τύποι πλοίων και είδη ατυχημάτων

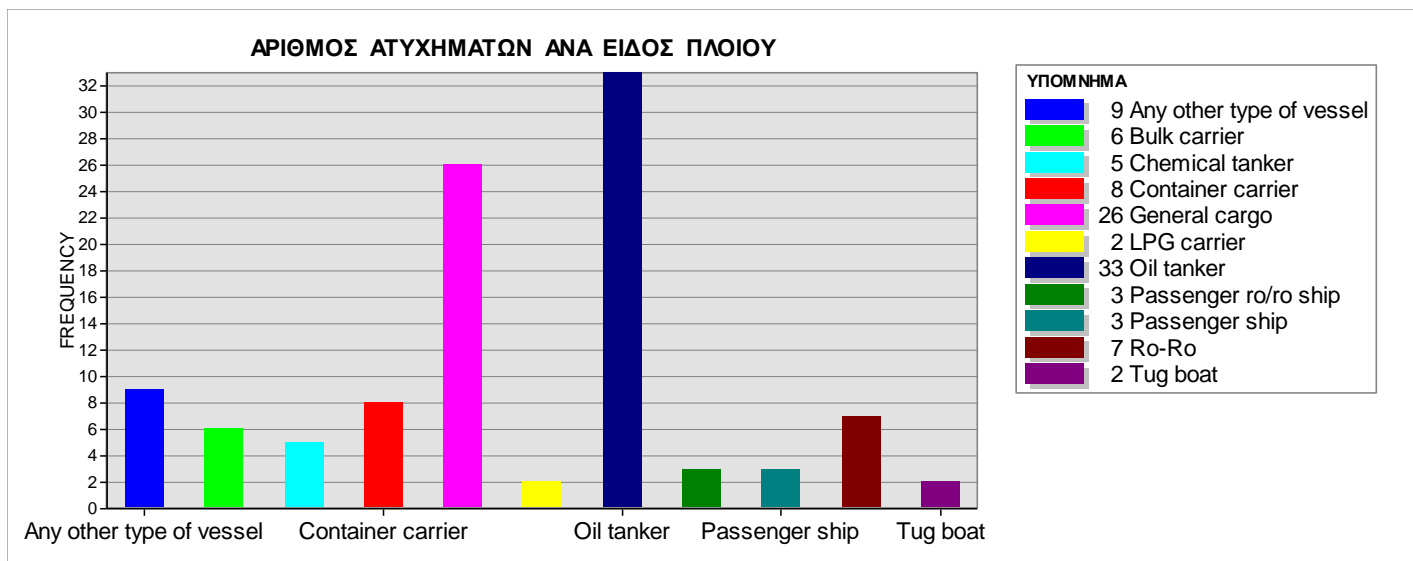
Οι τύποι πλοίων όπως εμφανίζονται στα δεδομένα του REMPEC είναι:

- **Oil tanker** : Δεξαμενόπλοια ή «γκαζάδικα», είναι πλοία κατασκευασμένα για τη μεταφορά χύμα προϊόντων υδρογονανθράκων/πετρελαιοειδών.
- **General cargo** : Πλοία για τη μεταφορά ποικίλων συσκευασμένων (όχι χύμα) προϊόντων.
- **Container carrier** : Φορηγά πλοία για τη μεταφορά ποικίλων προϊόντων μέσα σε ειδικού τύπου δοχεία, τα λεγόμενα containers.
- **Bulk carrier**: νεότερος τύπος φορηγών πλοίων που είναι ναυπηγημένα για μεταφορά ομοειδών φορτίων "χύδην", χύμα, (in bulk).
- **Ro-Ro** : Φορηγά πλοία όπου τα φορτία (οχήματα ή κοντέϊνερς) φορτώνονται από ειδικούς ελκυστήρες με ρυμούλκηση/κύληση μέσα στο χώρο φόρτωσης του πλοίου από ειδικό συνήθως αναδιπλούμενο καταπέλτη.
- **Chemical tanker** : Ειδικά δεξαμενόπλοια για τη μεταφορά χημικών φορτίων
- **Passenger ship** : Επιβατηγά πλοία
- **Passenger ro/ro ship** : Συνδυασμός επιβατηγών και Ro-Ro
- **LPG carrier** : Δεξαμενόπλοια για τη μεταφορά υγραερίου, ή αλλιώς Υγροποιημένου Αέριου Πετρελαίου (Liquified Petroleum Gas).
- **Tug boat** : Ρυμουλκά πλοία.

#### 3.1.2.1. Ατυχήματα ανά τύπο πλοίου

Στο λογισμικό ArcMap και με το εργαλείο Frequency της εργαλειοθήκης Statistics δημιουργήθηκε πίνακας με τη συχνότητα των ατυχημάτων ανά τύπο πλοίου. Κατόπιν, μέσω του πίνακα και με την εντολή 'Create Graph' δημιουργήθηκε το διάγραμμα 3.5 όπου επιλέχθηκε ο άξονας γ'γ να απεικονίζει τη συχνότητα(αριθμό) των ατυχημάτων και ο άξονας χ'χ να απεικονίζει τον τύπο του πλοίου.

Από το διάγραμμα φαίνεται πως τα περισσότερα ατυχήματα αφορούν σε δεξαμενόπλοια (oil tankers), κάτι το οποίο ίσως είναι και αναμενόμενο, και είναι 33 σε αριθμό. Αμέσως μετά ακολουθούν τα πλοία γενικού φορτίου με 26 ατυχήματα και μετέπειτα είναι τα container carriers με 8 ατυχήματα και τα πλοία τύπου Ro-Ro με 7 περιστατικά ρύπανσης.



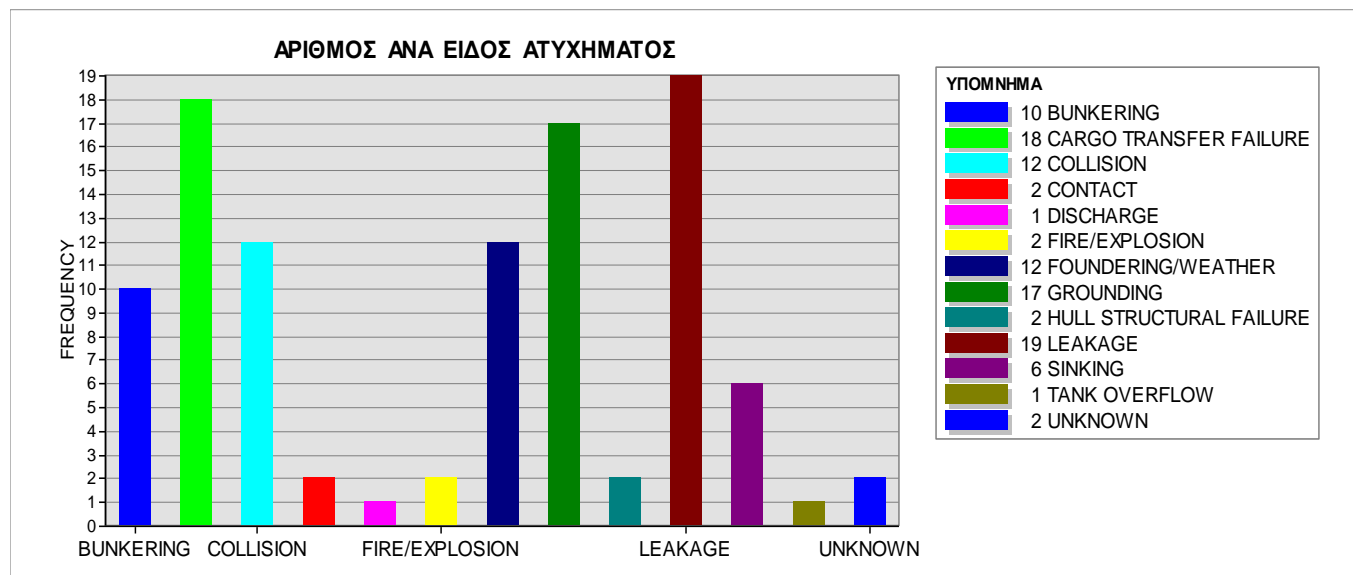
Διάγραμμα 3.5 : Αριθμός ατυχημάτων ανά είδος πλοίου

### 3.1.2.2. Περιστατικά ρύπανσης ανά είδος ατυχήματος

Στη συνέχεια, και με την ίδια διαδικασία όπως προηγουμένως, δημιουργήθηκε πίνακας με τον αριθμό των ατυχημάτων ανά είδος ατυχήματος. Τα ατυχήματα, σύμφωνα με τη βάση δεδομένων του REMPEC κατηγοριοποιούνται ως εξής :

- **Leakage** : Διαρροή (σχεδόν πάντα αφορά μικρές ποσότητες πετρελαίου μερικών m<sup>3</sup>)
- **Cargo Transfer Failure** : Αποτυχία κατά τη μεταφορά φορτίου
- **Grounding** : Προσάραξη
- **Foundering/Weather** : Ναυάγιο/κακοκαιρία
- **Collision** : Σύγκρουση
- **Bunkering** : Ατύχημα κατά τον ανεφοδιασμό
- **Sinking** : Βύθιση
- **Contact** : Επαφή
- **Fire/Explosion** : Φωτιά/Εκρηξη
- **Hull Structural Failure** : Αστοχία κατασκευής
- **Discharge** : Απόρριψη
- **Tank Overflow** : Υπερχείλιση δεξαμενών (συνήθως σχετίζεται με μικρές ποσότητες διαρροής)

Ως πρώτη αιτία ατυχήματος ρύπανσης είναι η διαρροή με 19 περιστατικά, αμέσως μετά είναι η αποτυχία μεταφοράς φορτίου με 18, η προσάραξη με 17 και ακολουθούν οι υπόλοιπες αιτίες όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 3.6 :



Διάγραμμα 3.6 : Είδη ατυχημάτων

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα oil tanker και General cargo είναι οι τύποι πλοίων με τα περισσότερα ατυχήματα που σχετίζονται με διαρροή πετρελαίου και σχηματισμό πετρελαιοκηλίδας. Οπότε, κρίθηκε σκόπιμο να εξεταστεί ειδικότερα για τους δύο αυτούς τύπους πλοίων ποιες είναι οι κυριότερες αιτίες των ατυχημάτων με διαρροή πετρελαιοειδών. Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με προηγουμένως, με τη διαφορά πως στο εργαλείο Frequency επιλέχθηκαν αυτή τη φορά 2 πεδία από τον πίνακα ιδιοτήτων, τα πεδία του τύπου πλοίου και του τύπου ατυχήματος. Ο πίνακας που δημιουργήθηκε συσχέτισε τα δύο αυτά πεδία και έδωσε τη συχνότητα με την οποία εμφανίζεται κάθε εγγραφή (εικόνα 3.1).

Στη συνέχεια παρήχθησαν τα διαγράμματα 3.7 και 3.8. Το διάγραμμα 3.7 αφορά τα δεξαμενόπλοια μεταφοράς πετρελαιοειδών. Το σύνολο των ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας που αφορά σε αυτόν τον τύπο πλοίων είναι 33 σε αριθμό. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η πρώτη κυριότερη αιτία ατυχήματος είναι η προσάραξη με 9 περιστατικά, ακολουθεί η αποτυχία μεταφοράς με 8 περιστατικά και μετά είναι τα περιστατικά διαρροής, 7 σε αριθμό. Οι υπόλοιπες αιτίες φαίνονται αναλυτικά στο διάγραμμα που ακολουθεί:

oil\_spills.mxd - ArcMap

File Edit View Bookmarks Insert Selection Geoprocessing Customize Windows Help

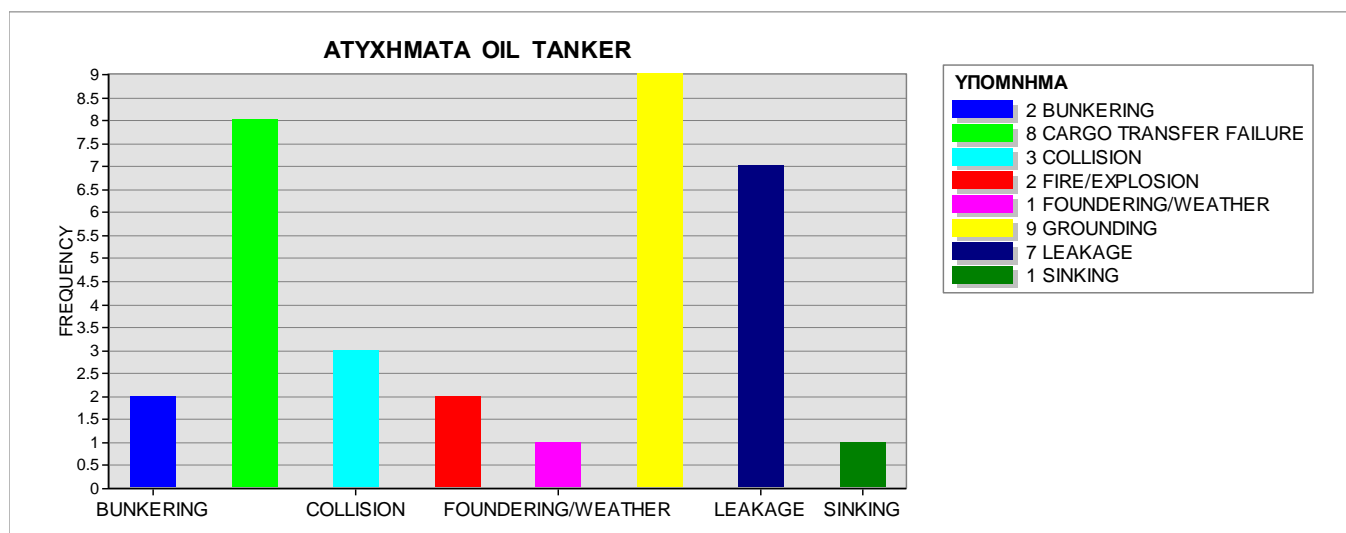
Table

Table Of Contents

stats\_vesseltype\_accidtype

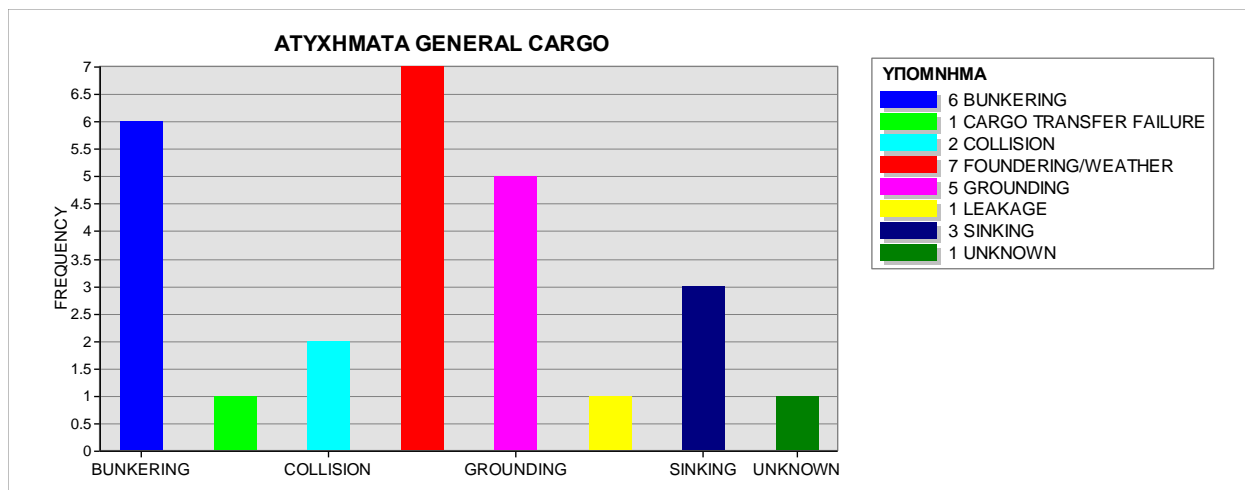
OBJECTID*	FREQUENCY	ACCIDENT_T	VESSEL
31	5	GROUNDING	General cargo
37	1	LEAKAGE	General cargo
44	3	SINKING	General cargo
49	1	UNKNOWN	General cargo
15	1	COLLISION	LPG carrier
38	1	LEAKAGE	LPG carrier
3	2	BUNKERING	Oil tanker
10	8	CARGO TRANSFER FAILURE	Oil tanker
16	3	COLLISION	Oil tanker
22	2	FIRE/EXPLOSION	Oil tanker
27	1	FOUNDERING/WEATHER	Oil tanker
32	9	GROUNDING	Oil tanker
39	7	LEAKAGE	Oil tanker
45	1	SINKING	Oil tanker

Εικόνα 3.1 : Πίνακας ιδιοτήτων στο ArcMap



Διάγραμμα 3.7 : Ατυχήματα oil tanker

Το διάγραμμα 3.8 αφορά τα πλοία General cargo. Το σύνολο των ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας που αφορά σε αυτόν τον τύπο πλοίων είναι 26 σε αριθμό. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η πρώτη κυριότερη αιτία ατυχήματος είναι οι κακές καιρικές συνθήκες/ναυάγια με 7 περιστατικά, μετά είναι τα ατυχήματα ανεφοδιασμού με 6 περιστατικά, οι προσαράξεις με 5 περιστατικά, ενώ τα υπόλοιπα φαίνονται αναλυτικά στο διάγραμμα που ακολουθεί :



Διάγραμμα 3.8 : Ατυχήματα General cargo

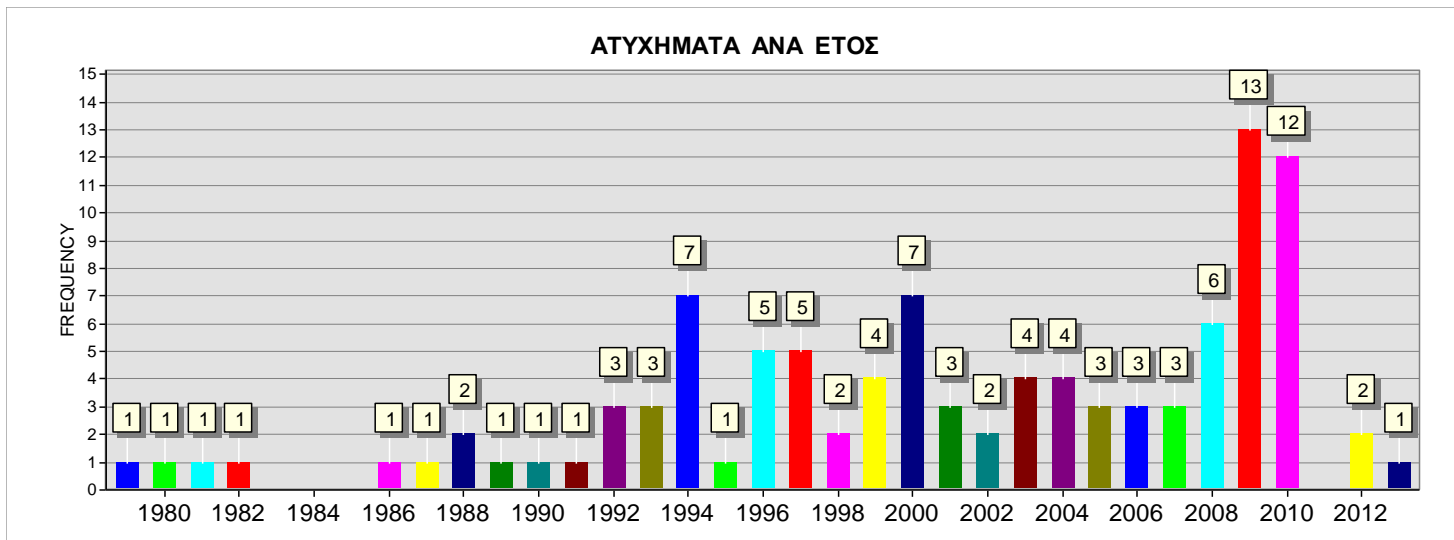
### 3.1.3. Ατυχήματα ανά έτος και ανά μήνα

Στα πλαίσια της στατιστικής ανάλυσης και της αναζήτησης χρήσιμων συμπερασμάτων, κρίθηκε σκόπιμο να εξεταστεί η κατανομή των ατυχημάτων ανά έτος όπως και η «εποχικότητά» τους.

#### 3.1.3.1. Ατυχήματα ανά έτος

Προκειμένου να απαντηθεί το ερώτημα «ποιό έτος συνέβησαν τα περισσότερα ατυχήματα με διαρροή πετρελαίου;» δημιουργήθηκε το διάγραμμα 3.9. Πάλι μέσω του προγράμματος ArcMap δημιουργήθηκε ένας καινούριος πίνακας με τη συχνότητα των ατυχημάτων ημερολογιακό έτος και οι εγγραφές του απεικονίστηκαν στο παρακάτω διάγραμμα :





Διάγραμμα 3.9 : Ατυχήματα ανά έτος

Τα έτη 1983, 1984, 1985 και 2011 δεν καταγράφηκε κανένα περιστατικό με διαρροή πετρελαιοειδών. Από το 1994 και μετά παρατηρείται μία αύξηση των ατυχημάτων, ενώ το 2009 και 2010 σημειώνεται μία απότομη αύξηση η οποία μηδενίζεται το επόμενο έτος και επανέρχεται σε χαμηλά επίπεδα τα τελευταία δύο έτη. Λόγω της απότομης αύξησης των περιστατικών το 2009 και 2010, αυτά απεικονίστηκαν με κόκκινο χρώμα (εικόνα 3.2).

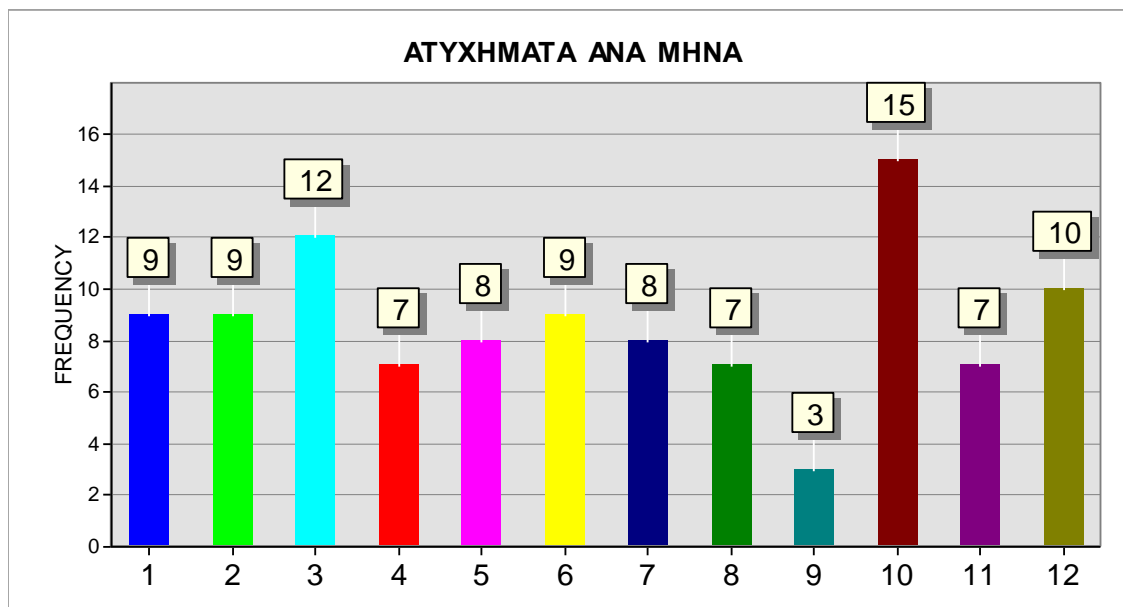


Εικόνα 3.2 : Χωρική κατανομή ατυχημάτων

Παρόλα αυτά, δεν παρατηρείται κάποια ιδιαίτερη κατανομή τους στο χώρο, οπότε η αιτία της αύξησης είναι ασφαλές να υποθέσουμε πως δεν έχει χωρικό/τοπολογικό χαρακτήρα.

### 3.1.3.2. Ατυχήματα ανά μήνα

Όταν τα ατυχήματα κατανεμηθούν ανά μήνα παρατηρείται μία ομαλή κατανομή τους εκτός από τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο που απέχουν περισσότερο από το μέσο όρο. Πιο συγκεκριμένα, το μήνα Σεπτέμβριο έχουν σημειωθεί τα λιγότερα ατυχήματα, τρία σε αριθμό, ενώ το μήνα Οκτώβριο έχουν καταγραφεί τα περισσότερα, 15 σε αριθμό. Αναλυτικά, τα αποτελέσματα φαίνονται στο διάγραμμα 3.10 που ακολουθεί :



Διάγραμμα 3.10 : Ατυχήματα ανά μήνα

## 3.2. Χωρική Στατιστική Ανάλυση

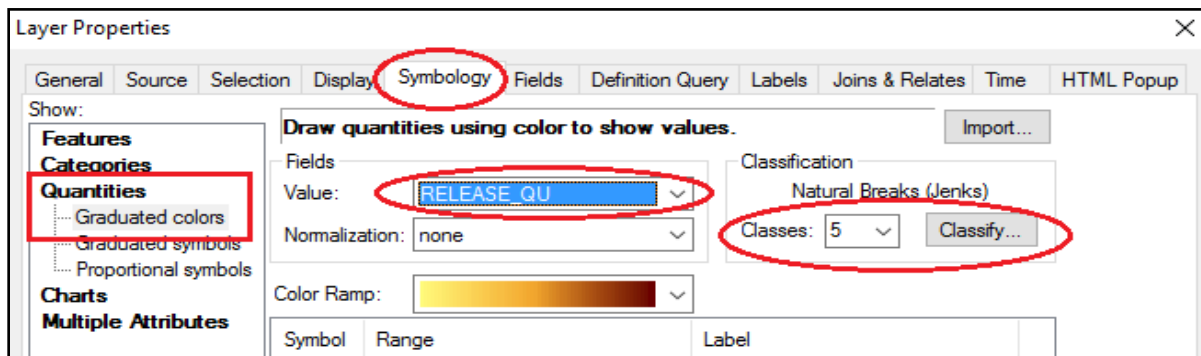
Σε αυτό το μέρος της εργασίας μελετάται το πρόβλημα από τη σκοπιά της χωρικής ανάλυσης, δηλαδή με διερεύνηση των γεωγραφικών κατανομών των δεδομένων, με τη συσχέτισή τους με συγκεκριμένα ποσοτικά ή ποιοτικά χαρακτηριστικά και με έμφαση στον προσδιορισμό χωρικών προτύπων. Κύριο ρόλο διαδραματίζει φυσικά η χωρική πληροφορία η οποία

εκφράζεται μέσω των συντεταγμένων για το γεωγραφικό πλάτος (latitude, φ) και γεωγραφικό μήκος (longitude, λ).

Σε κάθε γεωγραφική βάση δεδομένων, όπως και στη γεωβάση που δημιουργήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, κάθε εγγραφή συνοδεύεται από ένα πλήθος πληροφοριών το οποίο αποθηκεύεται στον πίνακα ιδιοτήτων. Οι εγγραφές μπορεί να είναι σημεία, γραμμές ή πολυγωνικές επιφάνειες και κάθε εγγραφή απεικονίζεται μέσω συντεταγμένων. Επιπλέον, σε κάθε εγγραφή μπορεί να αντιστοιχούν και άλλες πληροφορίες, ποιοτικές, ποσοτικές, χρονικές κτλ. Για παράδειγμα, ένα ναυτικό ατύχημα με διαρροή πετρελαίου απεικονίζεται ως σημείο/κουκκίδα μέσω των συντεταγμένων φ, λ του γεωγραφικού σημείου στο οποίο πραγματοποιήθηκε. Στο ατύχημα αυτό αντιστοιχεί μία γραμμή του πίνακα ιδιοτήτων, και στα κελιά της γραμμής αυτής υπάρχουν οι συντεταγμένες και λοιπές πληροφορίες όπως ημερομηνία, τύπος σκάφους, ποσότητα διαρροής, εάν υπήρχαν θύματα ή όχι, κτλ. Όλες αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τη χωρική ανάλυση για την εξαγωγή συγκεκριμένων θεματικών χαρτών.

### 3.2.1. Ατυχήματα ανά ποσότητα διαρροής πετρελαίου

Παρατηρώντας την κατανομή των ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας πάνω στο χάρτη, κρίθηκε σκόπιμο να γίνει μία αρχική κατηγοριοποίηση ανάλογα με το μέγεθος της διαρροής. Για το σκοπό αυτό, από την καρτέλα *Layer Properties* > *Symbology* ορίστηκαν 5 διαφορετικές κατηγορίες, σύμφωνα με τις ποσότητες που παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2 της παραγράφου 3.2.5.



Εικόνα 3.3 : Συμβολισμός κατηγοριών από την καρτέλα Layer Properties

Η πρώτη κατηγορία συμβολίστηκε με μικρή μαύρη κουκκίδα και αφορούσε ατυχήματα με μέγεθος διαρροής από 0-5 τόνους. Η δεύτερη κατηγορία συμβολίστηκε με λευκή κουκκίδα διπλάσιου μεγέθους και αφορούσε ατυχήματα με μέγεθος διαρροής από 5-50 τόνους. Η τρίτη κατηγορία συμβολίστηκε με κίτρινη κουκκίδα διπλάσιου μεγέθους από την προηγούμενη, και αφορούσε ατυχήματα με μέγεθος διαρροής από 50-500 τόνους. Η τέταρτη κατηγορία συμβολίστηκε με μεγαλύτερη πορτοκαλί κουκκίδα και αφορούσε ατυχήματα με μέγεθος διαρροής από 500-5.000 τόνους. Η πέμπτη κατηγορία συμβολίστηκε με μεγάλη κόκκινη κουκκίδα και αφορούσε ατυχήματα με μέγεθος διαρροής από 5.000-50.000 τόνους. Ο τελικός χάρτης, λόγω μεγέθους, περιλαμβάνεται στο Παράρτημα, σελίδα 1.



Εικόνα 3.4 : Απόσπασμα χάρτη (ατυχήματα ανά ποσότητα διαρροής)

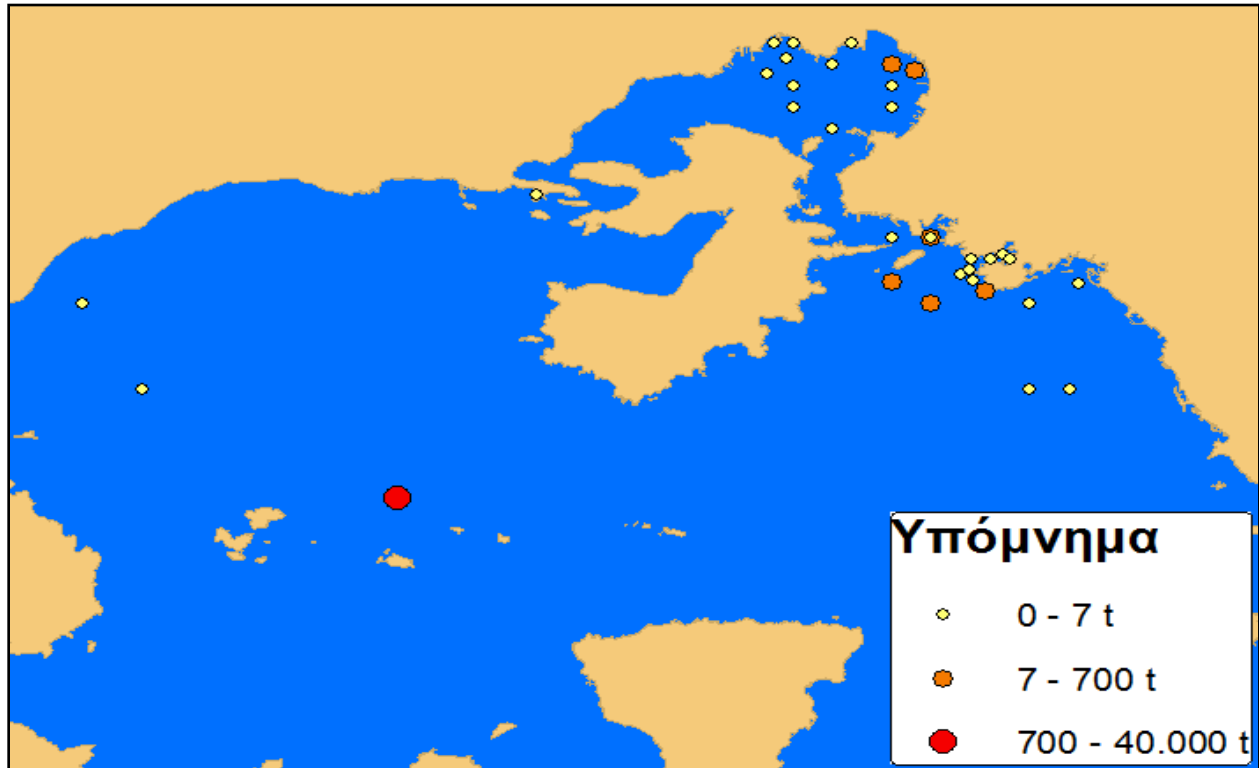
Τα δύο μεγαλύτερα ατυχήματα βρίσκονται στον κόλπο του Ναβαρίνου στην Πελοπόννησο (40,000 τόνοι) και στην περιοχή Καλοί Λιμένες της Ν. Κρήτης (12.000 τόνοι). Από τη χωρική κατανομή των ατυχημάτων δε φαίνεται να υπάρχει κάποια ιδιαίτερη συγκέντρωση σε συγκεκριμένα σημεία ή περιοχές, παρά μόνο στον κόλπο του Σαρωνικού.

Σύμφωνα με τον International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF), ο διαχωρισμός των πετρελαιοκηλίδων βάσει μεγέθους γίνεται ως εξής :

- 1<sup>η</sup> κατηγορία : 0-700 t
- 2<sup>η</sup> κατηγορία : 700-7.000 t

- 3<sup>η</sup> κατηγορία :7.000 t και άνω

Οπότε κρίθηκε σκόπιμο να δημιουργηθεί άλλος ένας χάρτης, αυτή τη φορά με την κατηγοριοποίηση σύμφωνα με τον ΙΤΟΡΦ. Ο τελικός χάρτης, λόγω μεγέθους, περιλαμβάνεται στο Παράρτημα, σελίδα 2.



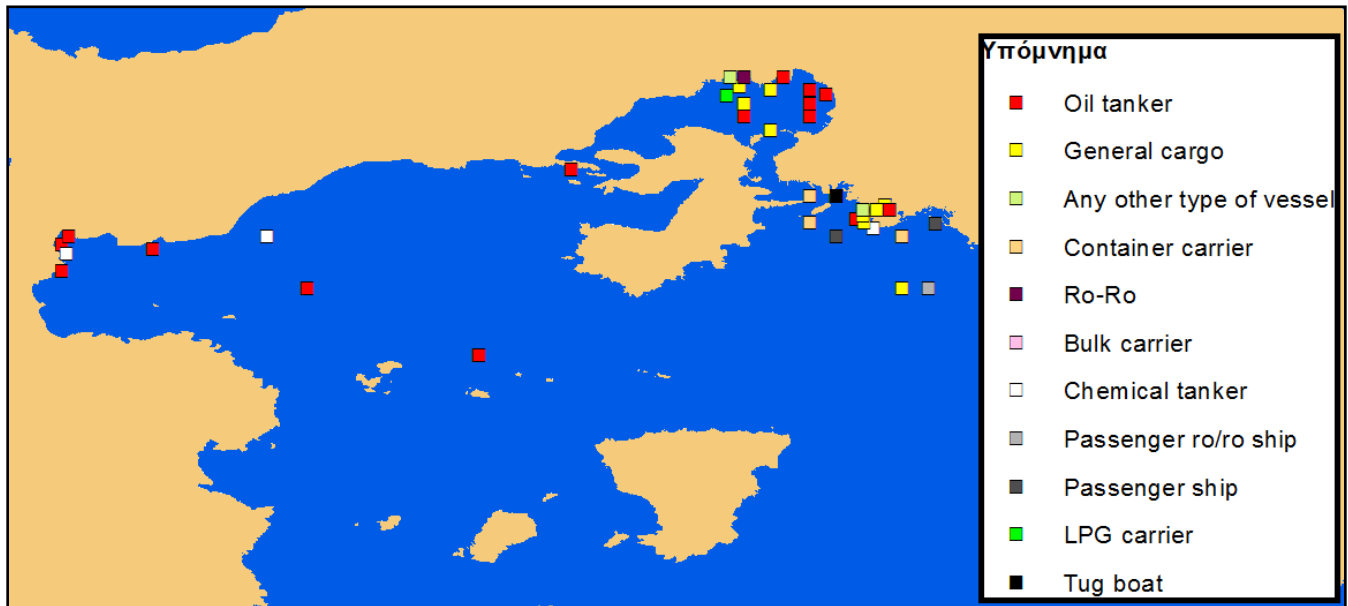
Εικόνα 3.5 : Απόσπασμα χάρτη (ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας ανά ποσότητα διαρροής, κατά ΙΤΟΡΦ)

Τα ατυχήματα με διαρροή πάνω από 700 τόνους παρατηρούνται να είναι διάσπαρτα στον ελληνικό θαλάσσιο χώρο στις περιοχές του Πατραϊκού κόλπου, στο Σαρωνικό, στη Χίο, στο Βόλο, ανατολικά των αγίων Αναργύρων (Εύβοια), στο Ναβαρίνο και στους Καλούς Λιμένες. Και με αυτή την κατηγοριοποίηση, η συγκέντρωση των λωπών ατυχημάτων στο Σαρωνικό κόλπο είναι εμφανής.

### 3.2.2. Ατυχήματα ανά τύπο πλοίου

Η απεικόνιση των ατυχημάτων δημιουργίας πετρελαιοκηλίδας ανάλογα με τον τύπο του πλοίου μπορεί να συμβάλει στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων και να κάνει εμφανείς

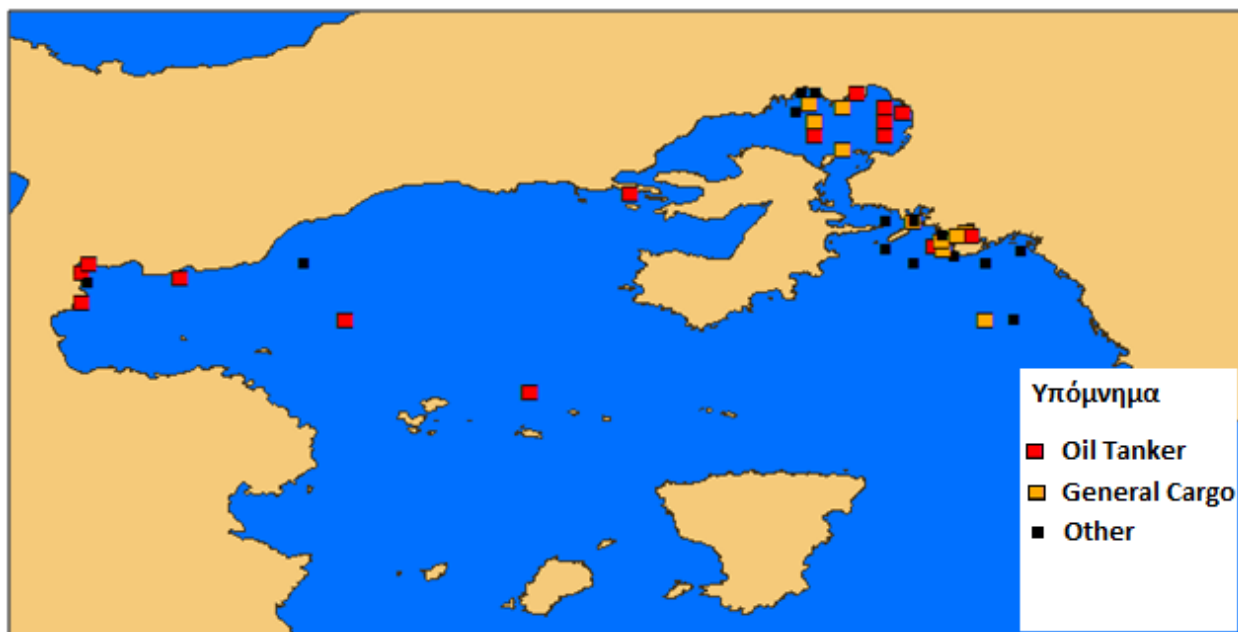
τυχόν συσχετίσεις μεταξύ του είδους των πλοίων και ορισμένων τοπολογικών χαρακτηριστικών. Απόσπασμα του χάρτη παρατίθεται παρακάτω, ενώ ολόκληρος ο χάρτης βρίσκεται στο παράρτημα.



Εικόνα 3.6(α) : Απόσπασμα χάρτη (ατυχήματα ανά τύπο πλοίου)

Επιπλέον, στην παράγραφο 3.1.2 αναφέρεται πως τα περισσότερα ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας συμβαίνουν στα πλοία oil tanker και general cargo. Κρίθηκε λοιπόν σκόπιμο να γίνει κατηγοριοποίηση των ατυχημάτων σύμφωνα με τους δύο αυτούς τύπους πλοίων. Για τα πλοία τύπου oil tanker χρησιμοποιήθηκε το σύμβολο του κόκκινου τετραγώνου και για τα general cargo χρησιμοποιήθηκε το κίτρινο τετράγωνο. Απόσπασμα του χάρτη με τα αποτελέσματα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 3.5, ενώ ολόκληρος ο χάρτης βρίσκεται στο παράρτημα, σελίδα 2.

Μία παρατήρηση που μπορεί να γίνει είναι πως τα ατυχήματα των oil tanker κατανέμονται ως επί το πλείστον στην περιοχή του Σαρωνικού (όπως είναι αναμενόμενο) και στο κεντρικό και νότιο αιγαίο, ενώ τα ατυχήματα των general cargo κατανέμονται στο Σαρωνικό και το βόρειο Αιγαίο κυρίως.

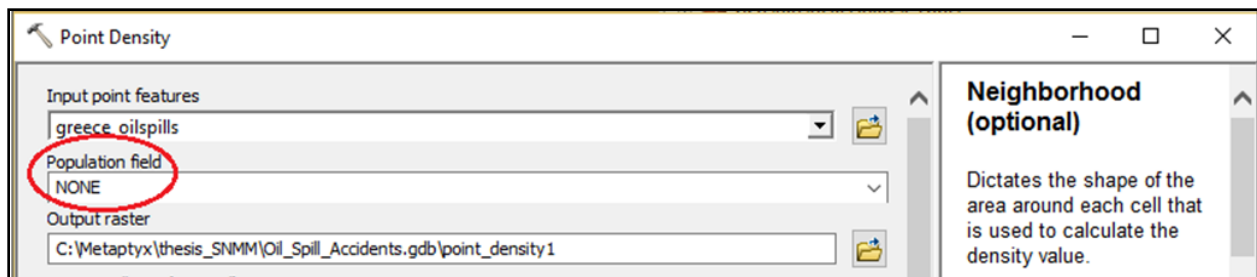


Εικόνα 3.6(β) : Απόσπασμα χάρτη (ατυχήματα ανά τύπο πλοίου)

### 3.2.3. Πυκνότητα ατυχημάτων

Η αναζήτηση “hot-spots” δηλαδή περιοχών με μεγάλο αριθμό ατυχημάτων μπορεί να γίνει με το εργαλείο Point Density της εργαλειοθήκης ArcToolbox. Το εργαλείο αυτό υπολογίζει την πυκνότητα των σημείων ενδιαφέροντος γύρω από κάθε εικονοστοιχείο (pixel) της απεικονιζόμενης περιοχής. Κατόπιν, εννοιολογικά, δημιουργεί μια γειτονιά γύρω από το κάθε κέντρο του κάθε εικονοστοιχείου και το πλήθος των χαρακτηριστικών σημείων που εμπίπτουν στην γειτονιά αθροίζεται και κατόπιν διαιρείται με το εμβαδόν της γειτονιάς. Στην περίπτωση που ως δεδομένο αναφοράς χρησιμοποιείται κάποιο στοιχείο με ποσοτική πληροφορία (πχ ποσότητα διαρροής), η αξία του στοιχείου καθορίζει το βάρος με το οποίο κάθε σημείο θα συμμετέχει στο άθροισμα. Για παράδειγμα, ένα στοιχείο με τιμή 3 θα υπολογιστεί ως τρία ίδια σημεία. Πιθανές χρήσεις του εργαλείου αυτού περιλαμβάνουν την εύρεση της πυκνότητας των σπιτιών σε κατοικημένους τόπους, παρατηρήσεις άγριας ζωής, ή εκθέσεις εγκληματικότητας.

Στην παρούσα περίπτωση το Point Density χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή περιοχών όπου συμβαίνουν συχνά περιστατικά ατυχημάτων. Για το λόγο αυτό, στο πεδίο population field τέθηκε η τιμή NONE, όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.6 :



Εικόνα 3.7 : Παραμετροποίηση εργαλείου Point Density

Τα αποτελέσματα φαίνονται στο χάρτη της εικόνας 3.5 και όπως είναι αναμενόμενο η περιοχή με το μεγαλύτερο φόρτο είναι η περιοχή γύρω από το Σαρωνικό. Για την κατηγοριοποίηση των αποτελεσμάτων έγιναν ορισμένες δοκιμές για το πλήθος των διαφορετικών κατηγοριών πυκνότητας προκειμένου να βρεθεί ο βέλτιστος τρόπος απεικόνισης. Τελικά ορίστηκαν 5 κατηγορίες ως εξής : Οι γειτονιές με πυκνότητα 0-10 δε συμβολίστηκαν καθόλου επειδή κάλυπταν ολόκληρο το χάρτη (ουσιαστικά συμβολίστηκαν με διαφάνεια - no color), οι γειτονιές με πυκνότητα 10-20 συμβολίστηκαν με λευκό χρώμα, οι γειτονιές με πυκνότητα 20-30 συμβολίστηκαν με κίτρινο χρώμα, οι γειτονιές με πυκνότητα 30-40 συμβολίστηκαν με πορτοκαλί χρώμα και οι γειτονιές με πυκνότητα 40-50 συμβολίστηκαν με κόκκινο χρώμα. Υπενθυμίζεται ότι π.χ. η τιμή 40-50 σημαίνει πως αν διαιρεθεί το εμβαδό της κόκκινης περιοχής με τον αριθμό των ατυχημάτων που συνέβησαν μέσα στην περιοχή αυτή, η τιμή που θα προκύψει θα είναι μεταξύ του 40 και 50.



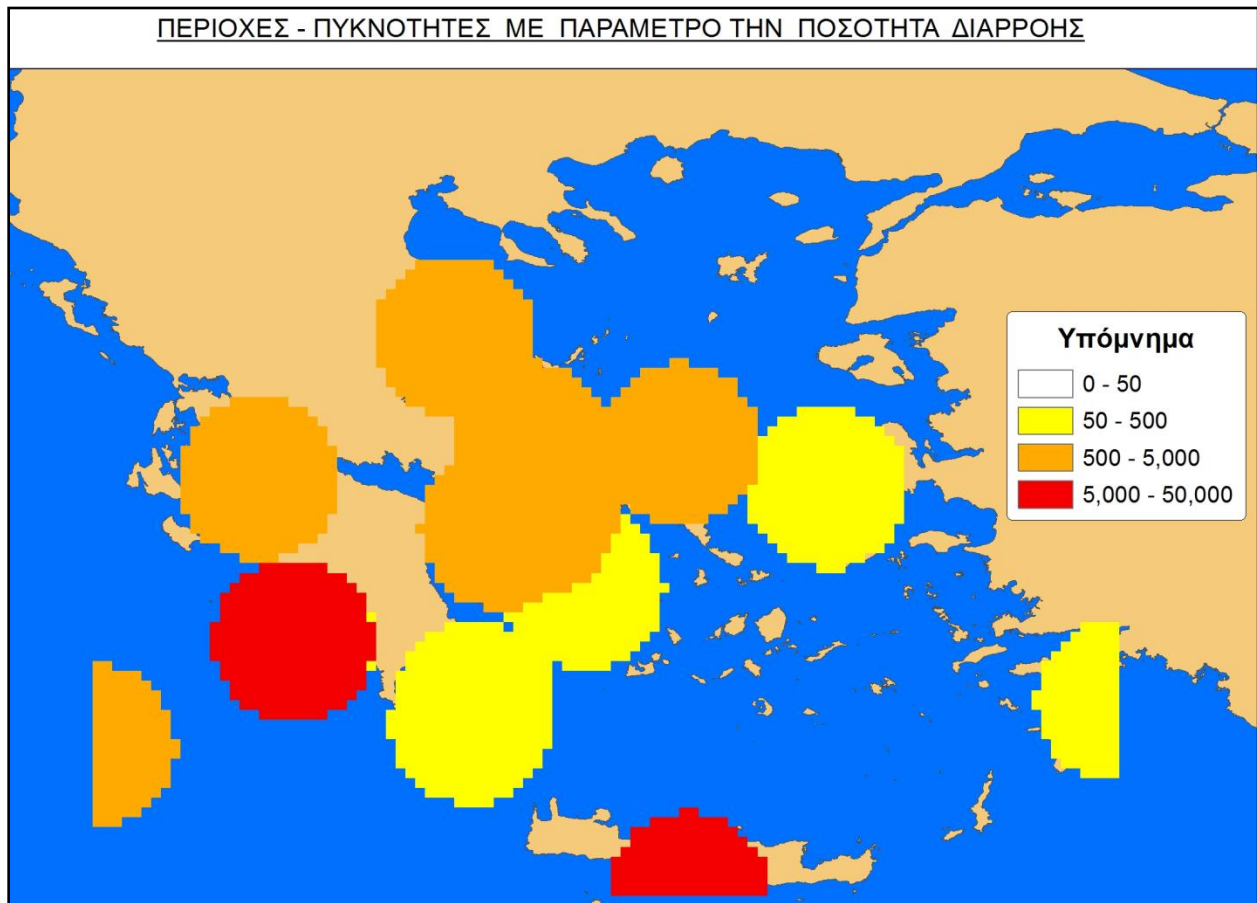


Εικόνα 3.8 : Χάρτης πυκνότητας πλήθους ατυχημάτων

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η περιοχή με το μεγαλύτερο φόρτο ατυχημάτων είναι ο κόλπος του Σαρωνικού και ειδικότερα το τμήμα που περιλαμβάνει τα λιμάνια και τις περιοχές του Πειραιά, Περάματος, Ελευσίνας, Σαλαμίνας και τους Αγίους Θεοδώρους μέχρι τον κόλπο της Επιδαύρου. Η περιοχή με πυκνότητα 30 – 40 μονάδες περιλαμβάνει τις περιοχές της Βουλιαγμένης, το Σούνιο, Λαύριο, Ραφήνα μέχρι τη Χαλκίδα. Η περιοχή με πυκνότητα 20 – 30 βρίσκεται περιμετρικά των δύο προηγούμενων περιοχών και τέλος η κατηγορία με πυκνότητα 10 – 20 αποτελεί ουσιαστικά το εξωτερικό όριο ολόκληρης της θερμής περιοχής.

Για την υπόδειξη των περιοχών οι οποίες έχουν ρυπανθεί με μεγάλες ποσότητες πετρελαίου, χρησιμοποιήθηκε και πάλι το εργαλείο Point Density. Αυτή τη φορά, ως Population Field τέθηκε το πεδίο της ποσότητας διαρροής. Με αυτόν τον τρόπο, το λογισμικό δημιούργησε περιοχές – γειτονιές οι οποίες χαρακτηρίζονται από το ίδιο σχεδόν επίπεδο ρύπανσης ανά επιφάνεια. Μετά από συγκεκριμένες δοκιμές διαπιστώθηκε ότι η δημιουργία τεσσάρων κατηγοριών απεικονίζει με το βέλτιστο τρόπο τα παραχθέντα αποτελέσματα. Οι κατηγορίες που δημιουργήθηκαν ήταν από 0 – 50 τόνους ανά εμβαδό συνολικής περιοχής, από 50 – 500

τόνους ανά περιοχή, από 500 – 5.000 τόνους και από 5.000 – 50.000 τόνους. Το χρώμα απεικόνισης κάθε κατηγορίας είναι όπως φαίνεται στο υπόμνημα της εικόνας 3.8.



Εικόνα 3.9 : Χάρτης πυκνότητας μεγέθους ατυχημάτων

Οι περιοχές με το κόκκινο χρώμα οφείλονται στα δύο μεγαλύτερα ατυχήματα που συνέβησαν στον ελλαδικό χώρο, αυτό στον Κόλπο του Ναβαρίνου το 1980 με 40.000 τόνους διαρροή και αυτό στους Καλούς λιμένες Κρήτης το 1979 με 12.000 τόνους διαρροή. Όλα τα υπόλοιπα ατυχήματα αφορούν σε διαρροές από 2.000 τόνους και λιγότερο. Όπως φαίνεται και από το χάρτη, οι θερμές περιοχές αυτής της περίπτωσης ακολουθούν την ελληνική ακτογραμμή από το λιμάνι του Βόλου μέχρι τα Κύθηρα και από εκεί μέχρι τη Ζάκυνθο και την Πάτρα, καθώς επίσης καλύπτουν το κεντρικό Αιγαίο και το νησί της Ρόδου. Οι περιοχές της βόρειας Ελλάδας όπως η Θεσσαλονίκη, Καβάλα-Θάσος και Αλεξανδρούπολη δεν φαίνεται να επηρεάζονται ιδιαίτερα από περιστατικά δημιουργίας θαλάσσιων πετρελαιοκηλίδων.

### 3.2.4. Μοντέλο δημιουργίας ευαίσθητων ζωνών.

Οι ευαίσθητες περιοχές, όπως αυτές μεταφορτώθηκαν από την ιστοσελίδα του Υπουργείου Παραγωγικής Ανασυγκρότησης Περιβάλλοντος και Ενέργειας μετατράπηκαν μέσω του ArcCatalog σε feature classes για την καλύτερη διαχείρισή τους από το λογισμικό και για την ευκολότερη εφαρμογή των εργαλείων της εργαλειοθήκης ArcToolbox. Κατόπιν, επειδή κάποιες περιοχές είχαν επικάλυψη μεταξύ τους, συνενώθηκαν σε μία θεματική ενότητα, οπότε τελικά προέκυψαν τα θεματικά επίπεδα :

- Γαλάζιες σημαίες : Θεματικό επίπεδο με σημεία που αντιπροσωπεύουν τις παραλίες οι οποίες βραβεύτηκαν με γαλάζια σημαία το έτος 2008.
- Εθνικοί δρυμοί : Πολυγωνικό (επιφανειακό) θεματικό επίπεδο με πολύγωνα που αντιπροσωπεύουν περιοχές οι οποίες είναι εθνικοί δρυμοί και εθνικά πάρκα και άλλες περιοχές που προστατεύονται από διεθνείς συνθήκες
- Natura : Όλες οι περιοχές Natura και λοιπές περιοχές ιδιαίτερου φυσικού κάλους, ιστορικής αξίας, μνημεία κτλ.
- Καταφύγια άγριας ζωής

Οι παραπάνω περιοχές απεικονίστηκαν στο χάρτη σύμφωνα με το υπόμνημα της εικόνας 3.9. Ειδικότερα για το θεματικό επίπεδο «γαλάζιες σημαίες» πρέπει να αναφερθεί πως επειδή είναι σημειακό, εξ' ορισμού δεν αντιπροσωπεύει πιστά τις συγκεκριμένες παραλίες επειδή αυτές είναι ως επί τω πλείστον επιμήκεις περιοχές παράλληλα στην ακτογραμμή. Όμως λόγω του ότι δεν βρέθηκαν άλλα πολυγωνικά δεδομένα που να αντιπροσωπεύουν καλύτερα τις περιοχές αυτές, χρησιμοποιήθηκαν τα σημειακά.



Εικόνα 3.10 : Ευαίσθητες περιοχές

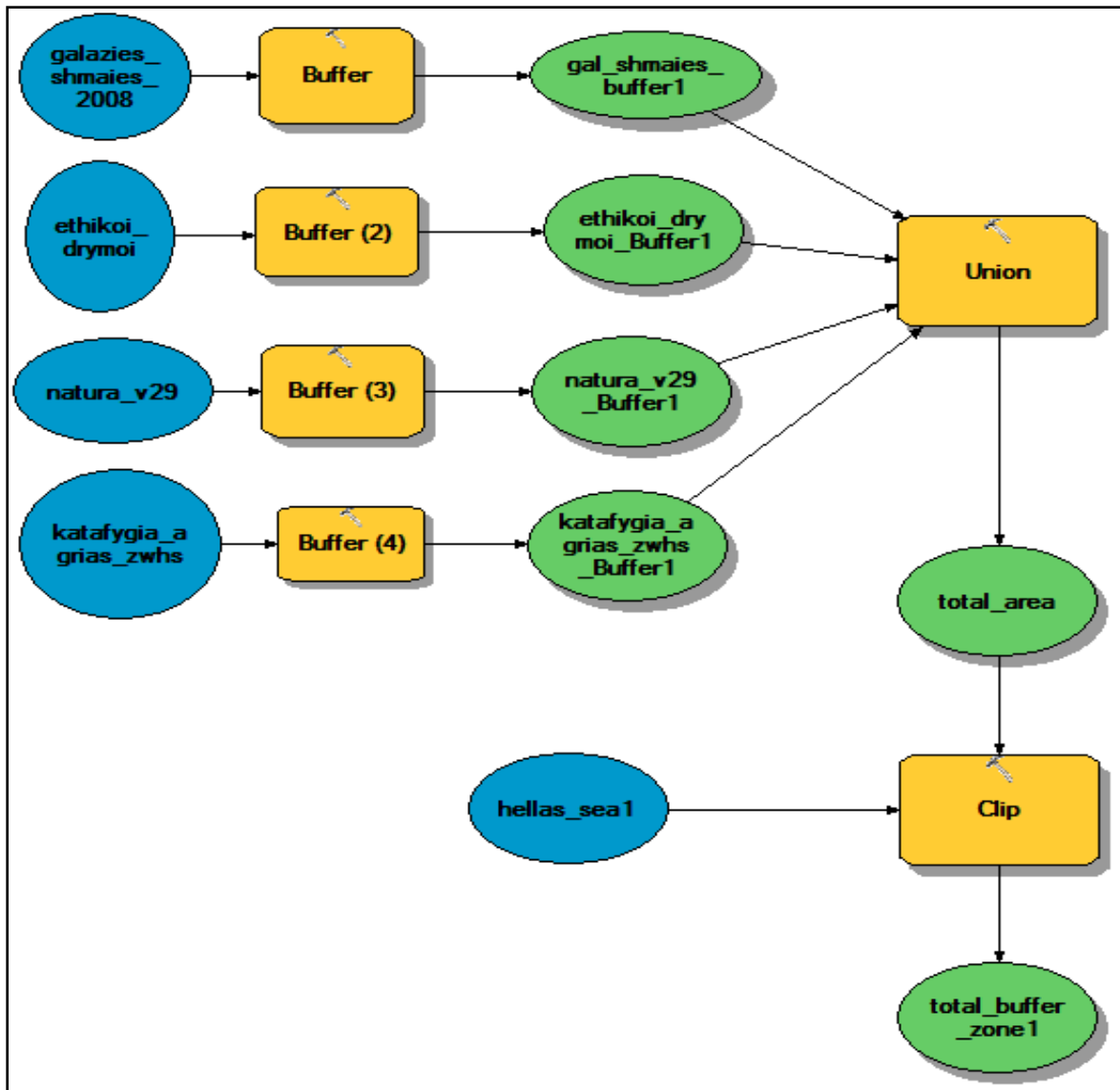
Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, ως ευαίσθητες ζώνες ή ζώνες επικινδυνότητας νοούνται οι ευαίσθητες προς ρύπανση θαλάσσιες περιοχές συμπεριλαμβανομένης και μίας υδάτινης ζώνης συγκεκριμένου πλάτους γύρω από αυτές. Η ζώνη αυτή αποτελεί ουσιαστικά μία περιοχή ασφαλείας, η οποία όταν παραβιαστεί δημιουργείται κίνδυνος για τις προστατευόμενες περιοχές. Όταν λοιπόν υπάρχει κίνδυνος για ρύπανση μιας περιοχής από τη δημιουργία πετρελαιοκηλίδας, το πλάτος της ζώνης αυτής μπορεί κάθε φορά να εξαρτάται από μία πληθώρα παραγόντων όπως οι καιρικές συνθήκες, το ανάγλυφο και η βαθυμετρία του βυθού, το είδος των πετρελαιοειδών που αποτελούν την κηλίδα κτλ. Για το λόγο αυτό, στη συνέχεια χρησιμοποιούνται κάποιες ενδεικτικές αποστάσεις (500μ και 3000μ) οι οποίες μπορούν ανά περίπτωση και ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία να τροποποιηθούν σύμφωνα με τις απαιτήσεις της κάθε περίπτωσης.

Για τη δημιουργία των ζωνών επικινδυνότητας δομήθηκε το παρακάτω μοντέλο :

- Δημιουργία ζώνης συγκεκριμένου πλάτους γύρω από τις προστατευόμενες/ευαίσθητες περιοχές με το εργαλείο Buffer.
- Ένωση των παραχθέντων ζωνών σε μία θεματική ενότητα με το εργαλείο Union.
- Παράθεση της παραπάνω θεματικής ενότητας με τη θεματική ενότητα της θάλασσας και εξαγωγή των τελικών ζωνών επικινδυνότητας (είναι οι επικαλυπτόμενες περιοχές

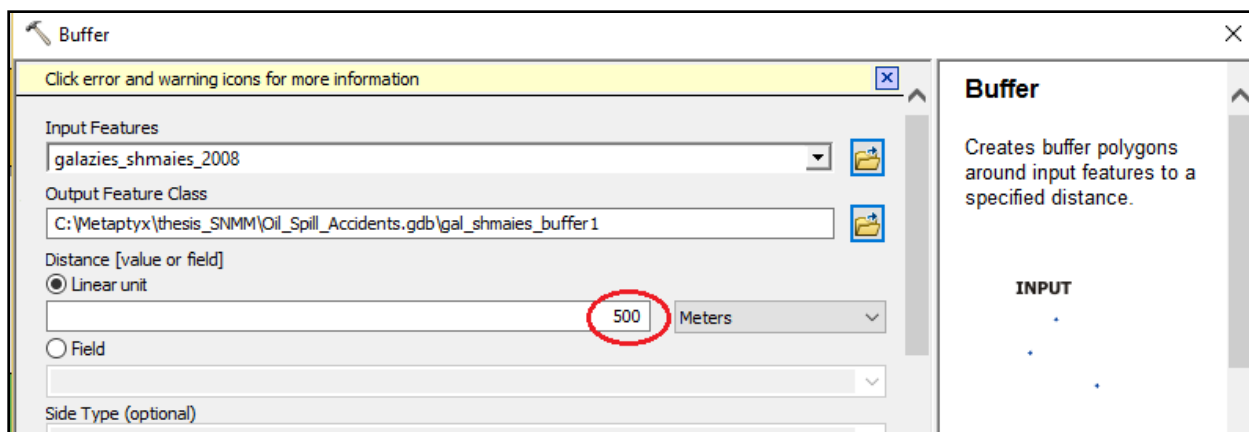
μεταξύ των δύο θεματικών ενότητων) ως ένα καινούριο ενιαίο θεματικό επίπεδο με το εργαλείο Clip.

Σχηματικά, το μοντέλο φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα :



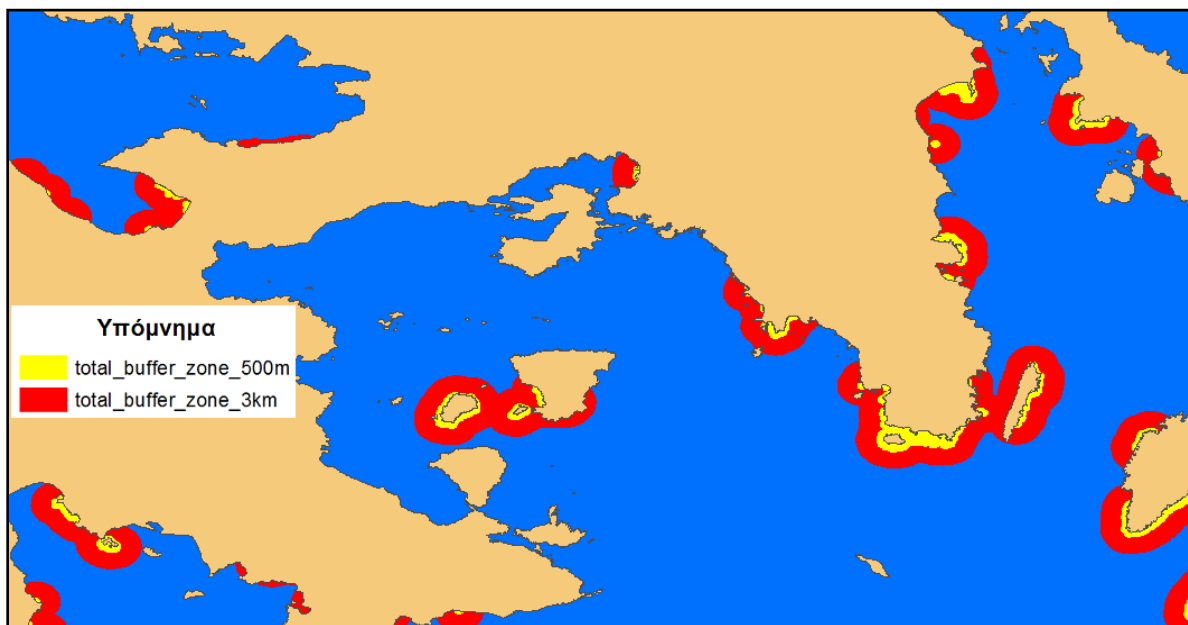
Διάγραμμα 3.11 : Model Builder, εξαγωγή ζωνών επικινδυνότητας

Κατά την υλοποίηση του μοντέλου στο Model Builder ορίζονται οι παράμετροι που απαιτούνται κάθε φορά. Για την περίπτωση δημιουργίας ζωνών 500 μέτρων συμπληρώνεται το αντίστοιχο πεδίο όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.10.



Εικόνα 3.11 : Το εργαλείο buffer

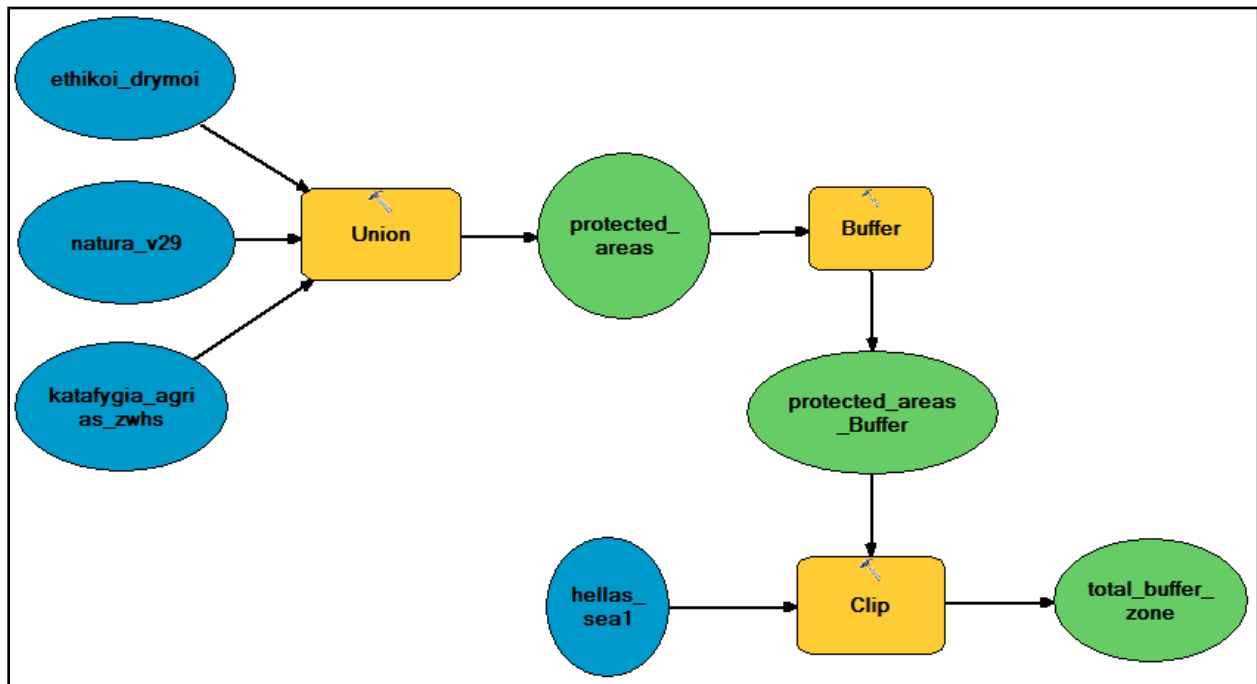
Τρέχοντας το μοντέλο δύο φορές, μία φορά για απόσταση 500μ και μία φορά για απόσταση 3000μ, παράγονται οι ζώνες επικινδυνότητας. Στο Παράρτημα παρατίθενται οι τελικοί χάρτες, ένας με τις δύο ζώνες (buffer) διαφορετικού πλάτους και ένας που απεικονίζει τη ζώνη 3Km σε συνδυασμό με τα ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας. Στο απόσπασμα που ακολουθεί (εικόνα 3.11) φαίνονται οι εν λόγω ζώνες οι οποίες απεικονίζονται σύμφωνα με το υπόμνημα:



Εικόνα 3.12 : Απόσπασμα χάρτη (ζώνες επικινδυνότητας)

Για λόγους πληρότητας αναφέρεται πως η δόμηση του μοντέλου θα ήταν πιο απλή εάν τα αρχικά δεδομένα ήταν όλα πολυγωνικά και δεν υπήρχαν καθόλου σημειακά. Σε αυτή την

περίπτωση η δομή του μοντέλου, χωρίς να επηρεάζεται το τελικό αποτέλεσμα, θα ήταν η παρακάτω :



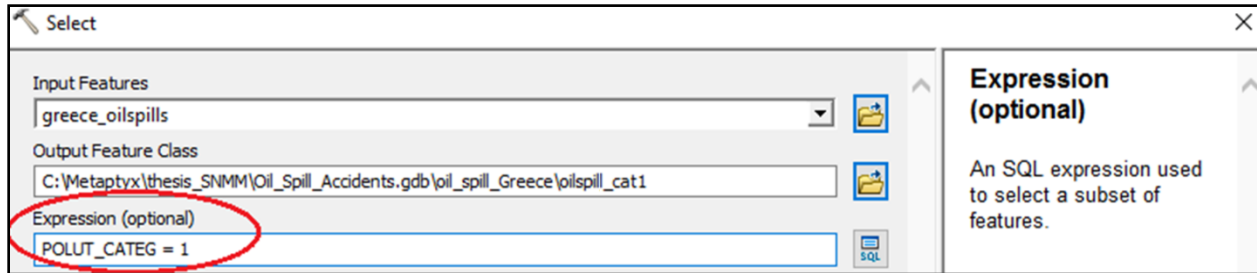
Διάγραμμα 3.12 : Εναλλακτική δομή μοντέλου με πολυγωνικά μόνο αρχικά δεδομένα

### 3.2.5. Μοντέλο Προσδιορισμού Πληγείσων Ευαίσθητων Περιοχών

Ο εντοπισμός των ευαίσθητων περιοχών που έχουν ρυπανθεί από πετρελαιοειδή είναι πολλές φορές απαραίτητος προκειμένου να εξαχθούν στοιχεία και στατιστικά για την έκταση της καταστροφής και τις συνέπειες στο περιβάλλον. Για τον προσδιορισμό των πληγείσων περιοχών από τις επιπτώσεις των πετρελαιοκηλίδων, αρχικά απαιτήθηκε ο διαχωρισμός των κηλίδων ανάλογα με το μέγεθος της διαρροής. Η κατηγοριοποίηση έγινε με τον ίδιο τρόπο όπως και στην παράγραφο 3.2.1. Στον πίνακα ιδιοτήτων των ατυχημάτων προστέθηκε άλλη μία στήλη η οποία ονομάστηκε "POLUT\_CAT" και σκοπός της ήταν να υποδηλώσει την κατηγορία του μεγέθους της διαρροής :

- Κατηγορία 1 : Από 0-5 τόνους
- Κατηγορία 2 : Από 5-50 τόνους
- Κατηγορία 3 : Από 50-500 τόνους
- Κατηγορία 4 : Από 500-5.000 τόνους
- Κατηγορία 5 : Από 5.000-50.000 τόνους

Με το εργαλείο Select και χρησιμοποιώντας κάθε φορά την κατάλληλη έκφραση, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.11, δημιουργήθηκαν 5 θεματικές ενότητες (oilspill\_cat1 έως oilspill\_cat5) που περιλάμβαναν τα ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας αναλόγως της κατηγορίας διαρροής.



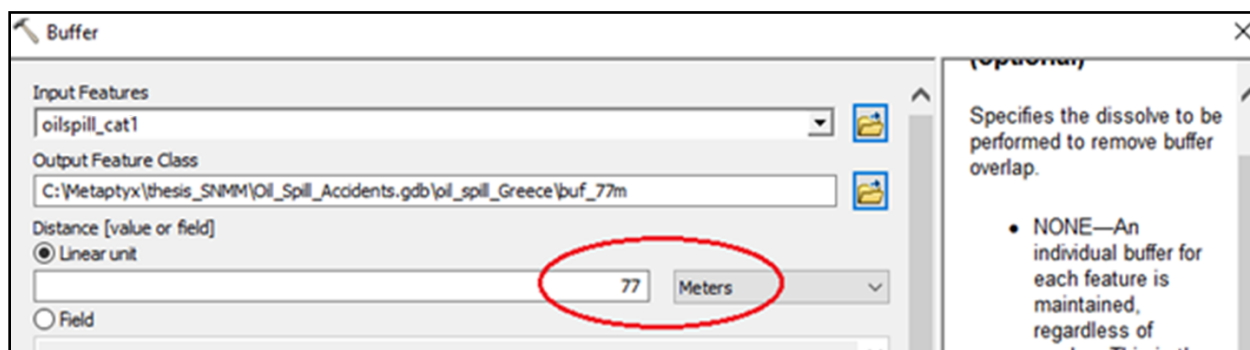
Εικόνα 3.13 : Το εργαλείο Select

Στο επόμενο βήμα της διαδικασίας, και επειδή τα δεδομένα για τα ατυχήματα ήταν σημειακά, έπρεπε να δημιουργηθούν οι περιοχές που συμβολίζουν την έκταση κάθε διαρροής. Το σχήμα κάθε πετρελαιοκηλίδας είναι ακανόνιστο και εξαρτάται κάθε φορά από πληθώρα παραγόντων όπως οι καιρικές συνθήκες και η κλιματολογία της περιοχής, ο κυματισμός της θάλασσας και τα θαλάσσια ρεύματα, η χημική σύσταση του πετρελαίου κ.α. Σε αυτό το σημείο, λόγω έλλειψης επιπλέον δεδομένων και προκειμένου να δομηθεί κατάλληλα το μοντέλο, έγινε η υπόθεση πως υπήρχαν ιδανικές καιρικές συνθήκες και συνθήκες εξάπλωσης οπότε η έκταση κάθε κηλίδας απεικονίστηκε ως κυκλικός δίσκος με κέντρο το σημείο του ατυχήματος. Για το εμβαδό κάθε κυκλικού δίσκου χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας 3.1 ο οποίος παρατίθεται παρακάτω και δείχνει την έκταση που καταλαμβάνει η πετρελαιοκηλίδα ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα και ανά ποσότητα διαρροής σε τόνους. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές για το χρονικό διάστημα των 24 ωρών από τη στιγμή του ατυχήματος. Έτσι, για κάθε θεματική ενότητα, μέσω του εργαλείου Buffer και απόσταση ανάλογη της κατηγορίας της πετρελαιοκηλίδας (εικόνα 3.12) δημιουργήθηκαν οι επιφάνειες ρύπανσης. Για κάθε κατηγορία, από την πρώτη έως την πέμπτη οι περιοχές ρύπανσης ορίστηκαν ως κυκλικοί δίσκοι με ακτίνες 77μ, 400μ, 465μ, 740μ και 1600μ αντίστοιχα.



	TIME OF SPREADING [hours]	QUANTITIES IN METRIC TONS				
		5t	50t	500t	5,000t	50,000t
Oil slick surface [km <sup>2</sup> ]	1	0.006	0.016	0.076	0.360	1.14
	2	0.016	0.023	0.107	0.496	2.28
	5	0.065	0.065	0.169	0.784	3.64
	10	0.183	0.183	0.24	1.11	5.15
	24		0.518	0.68	1.72	7.98
	48			1.93	2.43	11.3
	72			3.54	3.54	13.8
	96			5.45	5.45	15.6
500			64.8	64.8	64.8	
Thickness [mm]	1	0.980	3.6	7.5	15.8	50.1
	2	0.348	2.5	5.3	11.5	25.1
	5	0.088	0.9	3.4	7.0	15.7
	10	0.031	0.3	2.4	5.1	11.1
	24		0.1	0.84	3.3	7.2
	48			0.30	2.4	5.1
	72			0.16	1.6	4.1
	96			0.105	1.05	3.6
500			0.009	0.09	0.9	

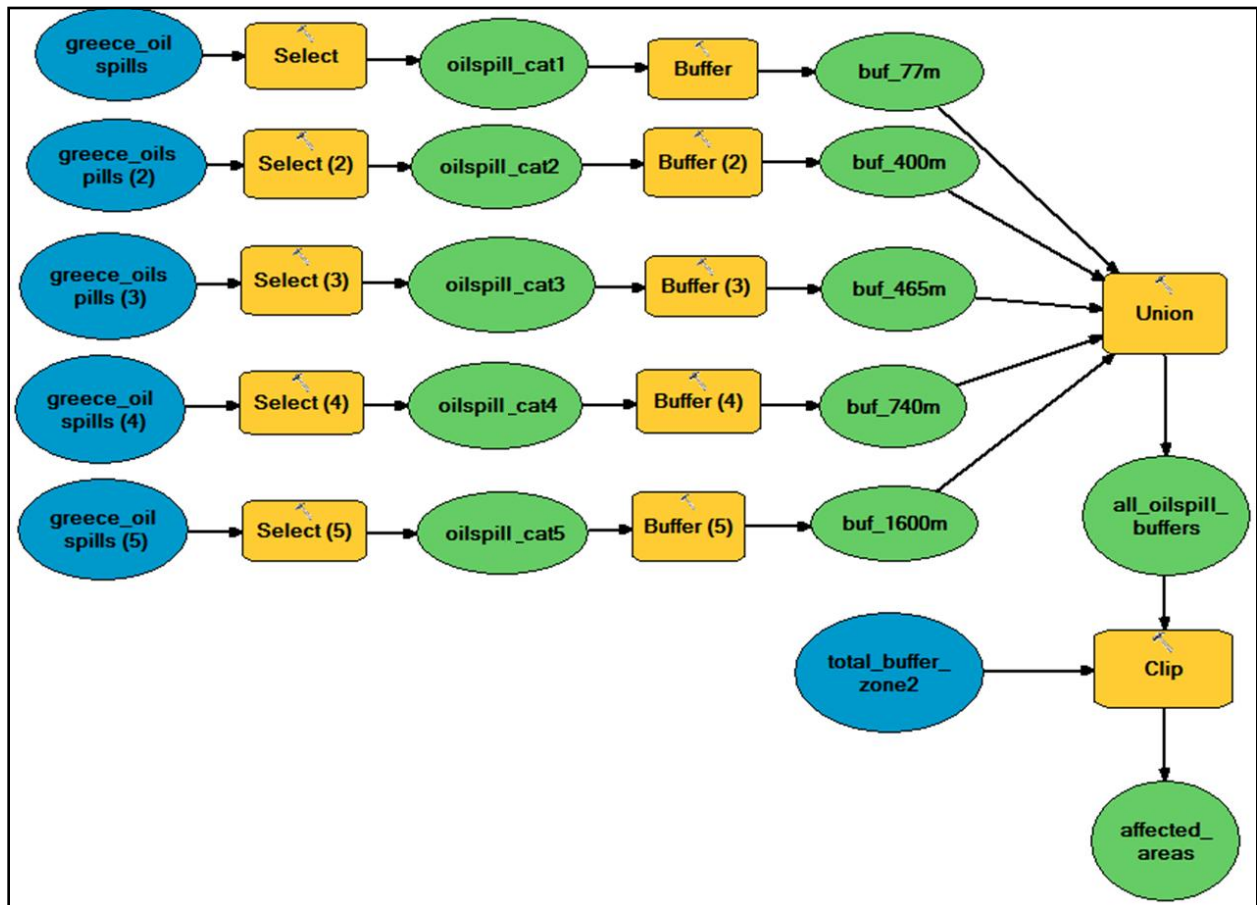
Πίνακας 3.2 Εξάπλωση πετρελαιοκηλίδας (Πηγή: Κορρός, 2008)



Εικόνα 3.14 : Δημιουργία κυκλικής περιοχής ρύπανσης για ατυχήματα με μέγεθος διαρροής κατηγορίας 1

Με χρήση του εργαλείου Union, τα θεματικά επίπεδα των περιοχών ρύπανσης συνενώθηκαν σε ένα ενιαίο θεματικό επίπεδο το οποίο κατόπιν εισήχθη στο εργαλείο Clip ως στοιχείο αποκοπής (clip feature) και το επίπεδο των ζωνών επικινδυνότητας εισήχθη ως αρχικό δεδομένο (input feature). Το αποτέλεσμα που έδωσε η παραπάνω διαδικασία αντιπροσωπεύει τις πληγείσες από τη ρύπανση θαλάσσιες περιοχές, δηλαδή τα τμήματα των ευαίσθητων

ζωνών στα οποία εισχώρησε κάποια πετρελαιοκηλίδα, σύμφωνα με τις παραδοχές του μοντέλου που δομήθηκε προηγουμένως.



Διάγραμμα 3.13 : Model Builder, εξαγωγή πληγεισών περιοχών

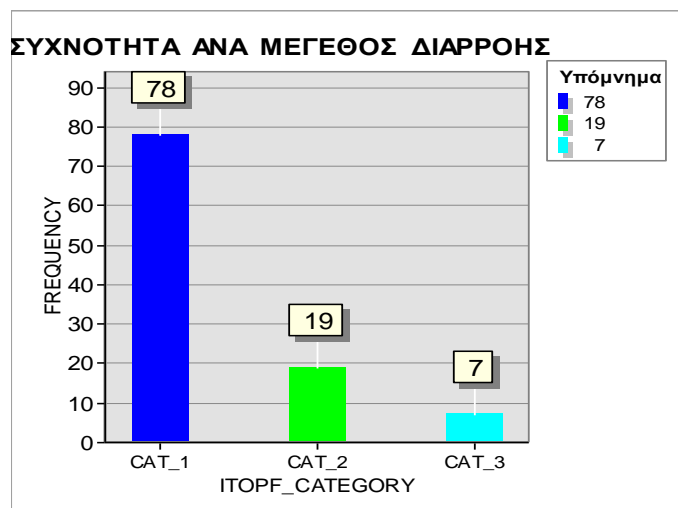
Όλη η διαδικασία για την εξαγωγή των πληγέντων περιοχών με το λογισμικό ArcMap φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα 3.12. Οι παράμετροι στα εργαλεία (κίτρινο χρώμα) μπορούν να οριστούν κατάλληλα ανά περίπτωση, ώστε κάθε φορά να δίνουν το ανάλογο αποτέλεσμα.

Ο τελικός χάρτης με τις πληγείσες περιοχές παρατίθεται στο Παράρτημα. Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και ιδιαίτερα στις ευαίσθητες περιοχές είναι, ευτυχώς, αρκετά περιορισμένες, όπως φαίνεται και το απόσπασμα του παρακάτω χάρτη :



Εικόνα 3.15 : Απόσπασμα χάρτη (πληγείσες περιοχές)

Το γεγονός πως οι ευαίσθητες περιοχές οι οποίες έχουν πληγεί από ρύπανση είναι πολύ μικρές και λίγες σε αριθμό οφείλεται στο ότι τα ναυτικά ατυχήματα τα οποία είχαν ως αποτέλεσμα μεγάλες διαρροές πετρελαιοειδών δεν είναι πολλά. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο ΙΤΟΡΡ διακρίνει τα μεγέθη διαρροών στις παρακάτω κατηγορίες : κατηγορία 1 = 0-7t, κατηγορία 2 = 7-700t. και κατηγορία 3 = 700t και περισσότερο. Από το επόμενο διάγραμμα φαίνεται πως τα περισσότερα από τα ατυχήματα (78 σε πλήθος) αφορούν σε διαρροές μικρότερες των 7 τόνων. Δεκαεννέα ατυχήματα αφορούν διαρροές από 7-700 τόνους και επτά ατυχήματα αφορούν σε ποσότητες μεγαλύτερες των 700 τόνων.

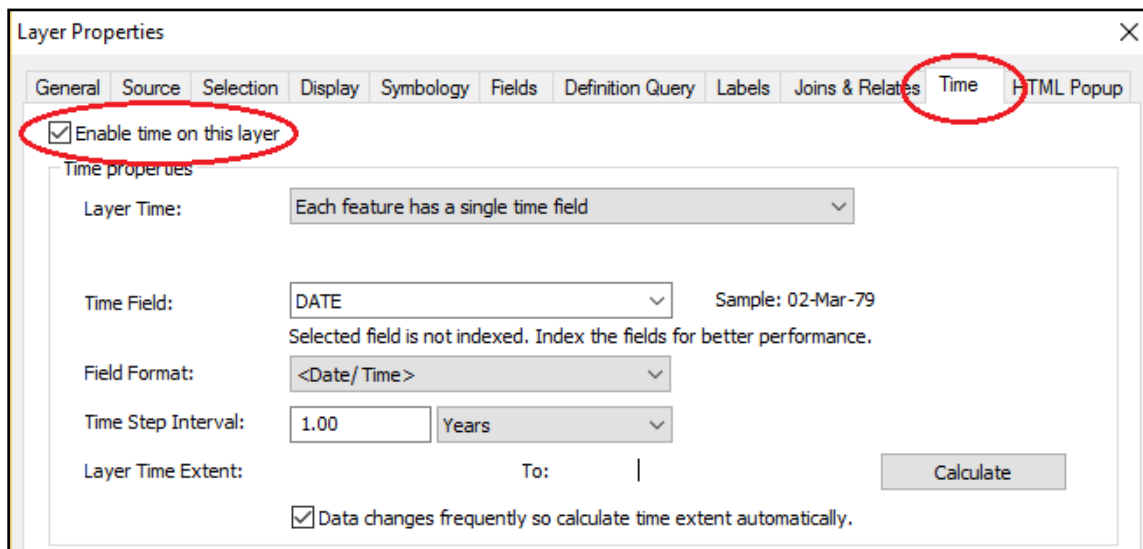


Διάγραμμα 3.14 : Συχνότητα ατυχημάτων ανά μέγεθος διαρροής (κατά ΙΤΟΡΡ)

### 3.2.6. Δυναμικά μεταβαλλόμενη απεικόνιση ατυχημάτων με την κλίμακα του χρόνου

Γνωρίζοντας το που συμβαίνουν τα γεγονότα είναι ο ακρογωνιαίος λίθος της ανάλυσης GIS. Κάποιος θα πρέπει να ξέρει το πού για να μπορέσει να υποθέσει το γιατί. Μια άλλη διάσταση στην ανάλυση GIS είναι το πότε. Γνωρίζοντας πού και πότε συμβαίνουν τα πράγματα σημαίνει ότι όχι μόνο είναι εφικτή η απεικόνιση των διάφορων προτύπων, αλλά επιπλέον το πώς τα πρότυπα αυτά έχουν εξελιχθεί με την πάροδο του χρόνου. Με αυτές τις πληροφορίες ο μελετητής αποκτά μια βαθύτερη κατανόηση των δεδομένων και μπορεί να μοντελοποιήσει και να προβλέψει τα μελλοντικά πρότυπα.

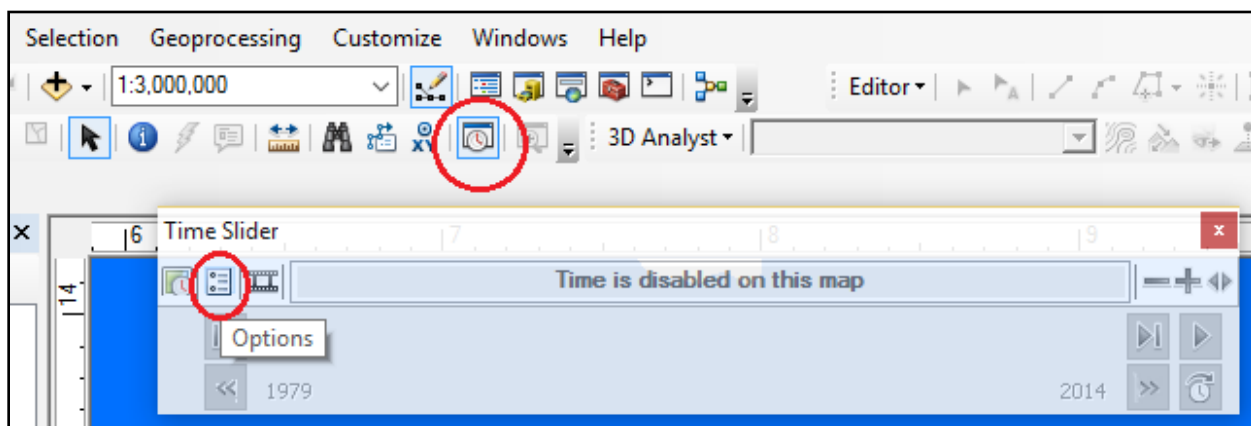
Προκειμένου το λογισμικό ArcMap να μπορέσει να αναπαραστήσει την κλίμακα του χρόνου είναι απαραίτητο τα δεδομένα να έχουν χρονική πληροφορία. Αυτό γίνεται μέσω του πίνακα ιδιοτήτων (Attribute Table). Στην περίπτωση των δεδομένων για τα ναυτικά ατυχήματα στον ελλαδικό χώρο, η στήλη με την ημερομηνία κάθε ατυχήματος χρησιμοποιήθηκε για το σκοπό αυτό. Η ενεργοποίηση του χρόνου γίνεται από την καρτέλα TIME των ιδιοτήτων του θεματικού επιπέδου (εικόνα 3.15). Στην ίδια καρτέλα ορίζονται διάφορες παράμετροι όπως το αν κάθε οντότητα έχει ένα μόνο πεδίο χρόνου ή δύο πεδία που αντιπροσωπεύουν την αρχή και το τέλος, η μορφή της ημερομηνίας, τα χρονικά βήματα της αναπαράστασης κτλ.



Εικόνα 3.16 : Ενεργοποίηση ιδιότητας του χρόνου για το θεματικό επίπεδο των ατυχημάτων

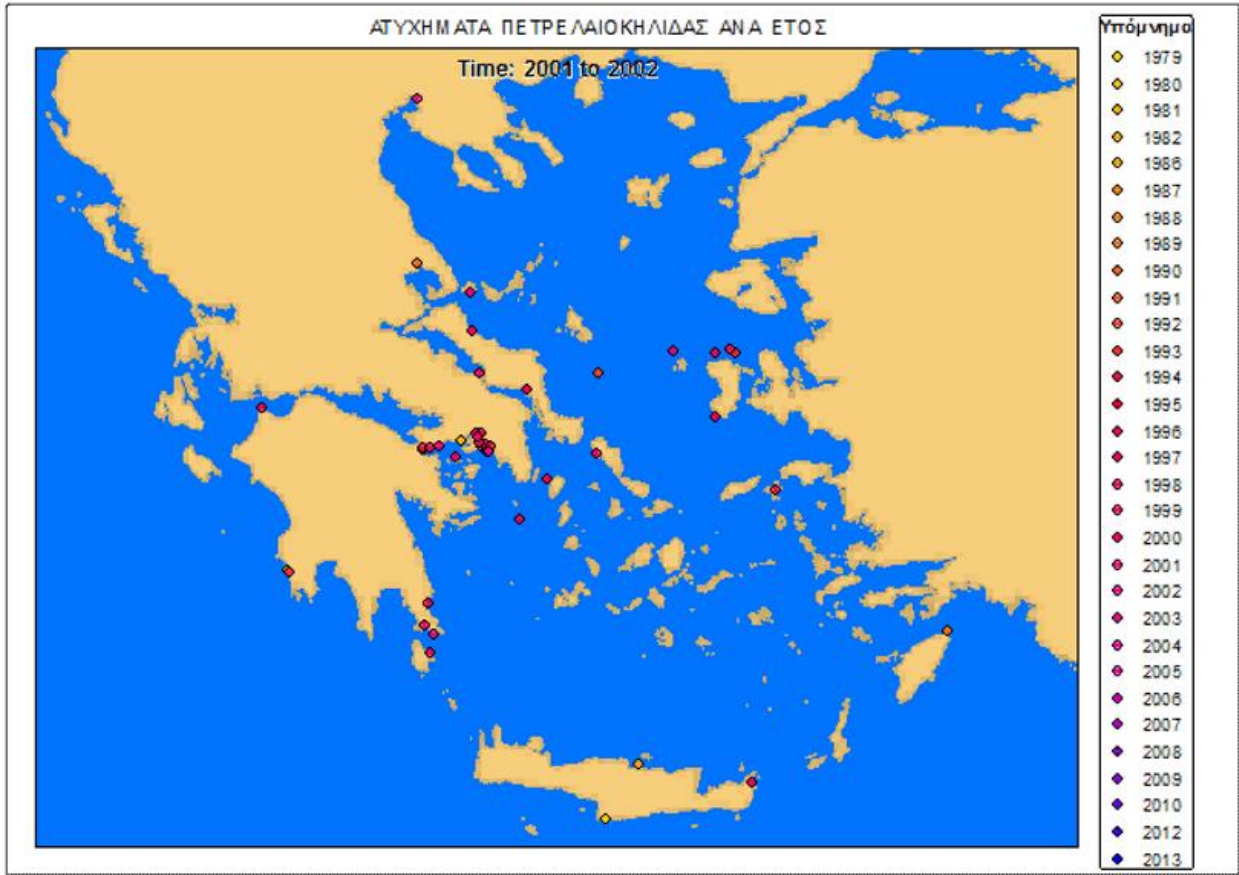
Στο επόμενο βήμα ενεργοποιείται το παράθυρο Time Slider της μπάρας εργαλείων (εικόνα 3.16) και από τις επιλογές ορίζονται το χρονικό διάστημα για το οποίο θα γίνει η απεικόνιση, η

μορφή της χρονικής ένδειξης, το αν αυτή θα φαίνεται πάνω στο χάρτη, η ταχύτητα με την οποία θα προχωράει ο χρόνος κτλ.



Εικόνα 3.17 : Το παράθυρο Time Slider και οι επιλογές για την παραμετροποίηση του

Τέλος, με το πάνω αριστερά εικονίδιο (disable/enable time on map) ενεργοποιείται ο χρόνος για το συγκεκριμένο χάρτη οπότε και μπορεί να ξεκινήσει η απεικόνιση. Η απεικόνιση μπορεί να γίνει και εξαγωγή ως αρχείο βίντεο και να αποθηκευτεί ξεχωριστά από τη βάση των δεδομένων. Το βίντεο με την απεικόνιση των πετρελαιοκηλίδων παρατίθεται συνημμένα με την παρούσα εργασία σε ψηφιακή μορφή, ενώ ένα στιγμιότυπο που αφορά το έτος φαίνεται στην παρακάτω εικόνα :



Εικόνα 3.18 : Στιγμιότυπο από το βίντεο χρονικής αναπαράστασης ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας

## 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

### 4.1. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία έγινε στατιστική και χωρική ανάλυση των ναυτικών ατυχημάτων που συνέβησαν στον ελλαδικό χώρο και σχετίζονται με τη δημιουργία πετρελαιοκηλίδων. Πιο συγκεκριμένα εξετάστηκε η ηλικιακή κατανομή και ο τύπος των πλοίων, τα είδη των ατυχημάτων, η κατανομή τους ανά έτος και μήνα καθώς και η χωρική κατανομή ανά μέγεθος διαρροής, ανά τύπο πλοίου. Επιπλέον ερευνήθηκε η πυκνότητά τους, δηλαδή σε ποιες περιοχές τα περιστατικά ήταν περισσότερα σε πλήθος αλλά και σε ποιες περιοχές η ποσότητα των πετρελαιοειδών ήταν μεγαλύτερη. Τη χωρική ανάλυση ακολούθησε η δημιουργία ζωνών επικινδυνότητας, σύμφωνα με συγκεκριμένες παραδοχές, οι οποίες αντιπροσωπεύουν τις θαλάσσιες περιοχές που σχετίζονται με εύθραυστα οικοσυστήματα, προστατευόμενους τόπους και τοποθεσίες ιδιαίτερης αξίας. Τέλος, δημιουργήθηκαν δύο χάρτες δυναμικά μεταβαλλόμενοι με την κλίμακα του χρόνου. Ο πρώτος παρουσιάζει τα ατυχήματα ανά έτος με σκοπό τη διερεύνηση ύπαρξης τυχόν προτύπων και τάσεων, ενώ ο δεύτερος μοντελοποιεί μία απλή περίπτωση εξάπλωσης μιας πετρελαιοκηλίδας κατά το πρώτο εικοσιτετράωρο. Η κύρια μεθοδολογία για τις παραπάνω εργασίες βασίστηκε στα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) και στο λογισμικό ArcMap. Τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται παρακάτω:

- Από την παράγραφο 3.1.1 προκύπτει ότι τα περισσότερα ατυχήματα που σχετίζονται με διαρροή πετρελαιοειδών, σε ποσοστό 49%, συμβαίνουν σε πλοία ηλικίας μεγαλύτερης των 25 χρόνων. Το γεγονός αυτό όμως δεν θα πρέπει να εξεταστεί μεμονωμένα, αλλά σε συνδυασμό με το ότι τα σκάφη του παγκόσμιου στόλου έχουν μέσο όρο ηλικίας τα 12,8 έτη και ο μέσος όρος ηλικίας των προς διάλυση πλοίων κυμαίνεται από 25 έως 30 έτη. Άρα, στατιστικά, όλα σχεδόν τα εν ενεργεία πλοία τα οποία είναι μεγαλύτερα των 25 ετών είναι εν δυνάμει ικανά να προκαλέσουν κάποιο ατύχημα διαρροής, πράγμα αναμενόμενο αν σκεφτεί κανείς πως όσο παλαιότερο είναι ένα σκάφος, τόσο περισσότερο υστερεί σε θέματα ασφαλείας, τεχνολογικού εξοπλισμού, αντλιών, σκελετού κτλ.

- Στην παράγραφο 3.1.2 διαπιστώθηκε πως τα περισσότερα ατυχήματα, 33 σε αριθμό, συνέβησαν σε δεξαμενόπλοια μεταφοράς πετρελαιοειδών και τα αμέσως επόμενα σε πλοία general cargo, 26 σε αριθμό. Τρίτα ήταν τα container carrier με αρκετά λιγότερα ατυχήματα, μόλις 8 περιστατικά. Επιπλέον, τα περισσότερα ατυχήματα των δεξαμενόπλοιων οφείλονταν σε προσάραξη, σε αστοχία μεταφοράς ή σε κάποιου είδους διαρροή (leakage), ενώ των

general cargo σχετίζονταν με καταποντισμό, διαδικασίες ανεφοδιασμού (bunkering) ή προσάραξη. Αν εξαιρεθεί η αιτία του καταποντισμού που οφείλεται σε καιρικά φαινόμενα, όλα τα υπόλοιπα περιστατικά έχουν άμεση σχέση με παράγοντες όπως ανθρώπινα λάθη, ελλιπή εξοπλισμό και αστοχίες κατασκευής. Ανάγκη είναι λοιπόν, να βρεθούν τρόποι εξάλειψης των παραγόντων αυτών (συχνότεροι και πιο ενδεδειγμένοι έλεγχοι και επιθεωρήσεις, αναθεώρηση των κανόνων ασφαλείας, καλύτερη και διαρκής εκπαίδευση του πληρώματος ενός πλοίου, κ.α.).

- Από την παράγραφο 3.1.3 φαίνεται ότι υπήρχε μία μικρή αύξηση των ατυχημάτων κατά το έτος 1994 και μία μεγάλη αύξηση τα έτη 2009-2010 ακολουθούμενη με μία απότομη πτώση το 2011. Η χωρική κατανομή των ατυχημάτων αυτά τα δύο έτη δεν έδειξε κάποιο πρότυπο με βάση το οποίο θα μπορούσε να υποθεθεί πως η αύξηση αυτή είχε κάποιο τοπολογικό χαρακτήρα ή αιτία. Υπάρχει περίπτωση να οφείλεται είτε σε μία γενικότερη αύξηση των θαλάσσιων μεταφορών λόγω της παγκόσμιας οικονομίας ή αναγκών των αναπτυσσόμενων χωρών είτε ακόμα να είναι ένα τυχαίο γεγονός. Επίσης η αύξηση των ατυχημάτων το μήνα Οκτώβριο θα μπορούσε να συσχετιστεί με την αύξηση των αναγκών σε πετρέλαιο λόγω του επερχόμενου χειμώνα στο Βόρειο ημισφαίριο, αλλά προκειμένου μία τέτοια υπόθεση να είναι τεκμηριωμένη, χρειάζεται περαιτέρω έρευνα.

- Τα περισσότερα ατυχήματα, όπως φαίνεται από την παράγραφο 3.2.1 και από τον αντίστοιχο χάρτη του παραρτήματος, αφορούν σε ατυχήματα με μικρές διαρροές τα οποία βρίσκονται σε μικρή απόσταση από την ακτή και συγκεντρώνονται κυρίως γύρω από λιμάνια και σημεία ανεφοδιασμού. Μόνο δύο ατυχήματα είχαν διαρροή άνω των 5000 τόνων. Επιπλέον, ο κύριος όγκος των περιστατικών παρατηρείται από το γεωγραφικό πλάτος του λιμανιού του Βόλου και νοτιότερα, ενώ μόνο έξι ατυχήματα φαίνεται να έχουν σημειωθεί στην περιοχή της Θεσσαλονίκης και Καβάλας. Ιδιαίτερα στη διαδρομή προς τα στενά των Δαρδανελίων (Τσανάκκαλε) η οποία χαρακτηρίζεται από μεγάλο φόρτο, παρατηρείται ένα μόνο ατύχημα. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει την προηγούμενη παρατήρηση πως τα περισσότερα ατυχήματα που σχετίζονται με διαρροές οφείλονται σε ανθρώπινο λάθος, ελλιπή ή ελαττωματικό εξοπλισμό ή αστοχίες κατασκευής και συμβαίνουν πλησίον λιμανιών και σημείων ανεφοδιασμού, δηλαδή κοντά σε ακτές.

- Από τη χωρική κατανομή με βάση τον τύπο των πλοίων δεν παρατηρείται κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο το οποίο θα οδηγούσε στην εξαγωγή κάποιων ιδιαίτερων συμπερασμάτων. Το μόνο συμπέρασμα είναι και πάλι πως βορειότερα από το γεωγραφικό πλάτος του Βόλου δεν σημειώνεται καμία διαρροή από πετρελαιοφόρο. Αυτό είτε είναι τυχαίο γεγονός, είτε υποδηλώνει πως οι κύριες ανάγκες για πετρέλαιο της Βόρειας Ελλάδας εξυπηρετούνται από ξηράς.



- Στην παράγραφο 3.2.3 δημιουργήθηκαν δύο χάρτες πυκνότητας, όπου ο πρώτος δείχνει την περιοχή στην οποία συγκεντρώνονται τα περισσότερα ατυχήματα και ο δεύτερος απεικονίζει τις περιοχές όπου αθροιστικά έχουν διαρρεύσει οι μεγαλύτερες ποσότητες πετρελαιοειδών. Ο πρώτος χάρτης καταδεικνύει την περιοχή γύρω από το λιμάνι του Πειραιά ως τον τόπο όπου συμβαίνουν τα περισσότερα σε αριθμό ατυχήματα, πράγμα λογικό, αφού ο Πειραιάς όντας το σημαντικότερο λιμάνι της χώρας δέχεται το μεγαλύτερο φόρτο. Επειδή ο Σαρωνικός είναι ένας μικρός κόλπος όπου τα νερά δεν ανακυκλώνονται με την ίδια ευκολία όπως σε μία ανοιχτή θάλασσα, η συγκέντρωση τόσων πολλών ατυχημάτων, έστω και μικρών σε ποσότητες διαρροής, μπορεί να αποτελέσει σημαντική αιτία επιβάρυνσης του περιβάλλοντος. Αυστηρότεροι κανονισμοί και έλεγχοι, καλύτερα μέτρα, εκπαίδευση και ενημέρωση των πληρωμάτων θα συμβάλλουν στον περιορισμό του φαινομένου. Ενδιαφέρουσες πληροφορίες εξάγονται και από το δεύτερο χάρτη, ο οποίος δείχνει πως όλες σχεδόν οι περιοχές που δέχτηκαν μεγάλες ποσότητες από πετρελαιοειδή ακολουθούν την ακτογραμμή, από το λιμάνι του Βόλου έως το Σαρωνικό. Η κόκκινη περιοχή στον κόλπο του Ναβαρίνου είναι η τοποθεσία όπου χύθηκαν 40.000 τόνοι από ένα μόνο ατύχημα, και αποτελεί το μεγαλύτερο έως σήμερα ατύχημα στον ελλαδικό θαλάσσιο χώρο. Συγκρίνοντας τους 2 χάρτες, καταλαβαίνουμε ότι τα ατυχήματα στο Σαρωνικό υπερτερούν κατά πολύ σε πλήθος από ότι στον υπόλοιπο χώρο, αλλά παρόλα αυτά οι ποσότητες που διαρρέουν είναι ίδιας κλίμακας με τις ποσότητες άλλες περιοχών.

- Από τους χάρτες που δημιουργήθηκαν στην παράγραφο 3.2.4 και απεικονίζουν τις ευαίσθητες προς ρύπανση περιοχές καθώς και κάποιες ενδεικτικές ζώνες ασφαλείας γύρω από αυτές, γίνεται φανερό αυτό που αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο της εργασίας, ότι δηλαδή ο ελληνικός θαλάσσιος χώρος αποτελεί μία περιοχή μοναδική στον κόσμο και με ιδιαίτερη σημασία, καθώς φιλοξενεί μία πληθώρα από οικοσυστήματα και άλλες περιοχές αυξημένης σημαντικότητας οι οποίες χρήζουν προστασίας προκειμένου να διατηρηθούν ανέπαφες. Εντυπωσιακό είναι το γεγονός πως σχεδόν ολόκληρη η ελληνική ακτογραμμή, αυτή των νησιών αλλά και της ηπειρωτικής χώρας, γειτνιάζει με τέτοιου είδους ευαίσθητες περιοχές. Λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη και το γεγονός πως μία πετρελαιοκηλίδα δεν είναι στάσιμη αλλά μπορεί να εξαπλώνεται και να μετακινείται προς διάφορες κατευθύνσεις ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες που επικρατούν, κάποιος καταλαβαίνει ότι σε όποιο σημείο του ελλαδικού χώρου και αν συμβεί κάποιο ατύχημα τότε κάποια ευαίσθητη περιοχή οπωσδήποτε θα βρεθεί υπό απειλή. Επομένως, επανακαθορισμός των υφιστάμενων δρομολογίων ή περιορισμοί σε δρομολόγια που διέρχονται από συγκεκριμένες περιοχές, πιθανότατα δεν θα είχαν κάποιο αποτέλεσμα και επιπλέον θα επιβάρυναν άλλες περιοχές κάτι το οποίο θα αύξανε την πιθανότητα ατυχημάτων. Οι χάρτες

λοιπόν, οδηγούν και πάλι στο συμπέρασμα ότι αυτό που θα πρέπει να γίνει είναι η αναθεώρηση και καλύτερη εφαρμογή των μέτρων και κανόνων προστασίας, η συνεχής εκπαίδευση των πληρωμάτων και η ετοιμότητα των πλοίων αλλά και των αρχών για την άμεση αντιμετώπιση των διαρροών με στόχο την εμπόδιση της εξάπλωσής τους το γρηγορότερο δυνατό.

- Από το δυναμικά μεταβαλλόμενο σε σχέση με το χρόνο χάρτη ο οποίος απεικονίζει τα ατυχήματα όπως συνέβησαν σε κάθε σημείο του ελλαδικού χώρου ανά έτος, δεν παρατηρείται κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο ή η δημιουργία ορισμένων τάσεων. Αλλά ακόμα και από την απουσία προτύπων μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα. Στην προκειμένη περίπτωση γίνεται αντιληπτό πως τα ατυχήματα, με την πάροδο του χρόνου δεν επηρεάζονται από αίτια με χωρική ή τοπολογική σημασία. Επιπλέον, παρατηρείται μία σταθερή παρουσία ατυχημάτων στον κόλπο του Σαρωνικού, σχεδόν κάθε χρόνο, πράγμα αναμενόμενο αφού δέχεται το μεγαλύτερο φόρτο. Σε γενικές γραμμές, δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια μείωση, αλλά ούτε και αύξηση, στη συχνότητα εμφάνισης ατυχημάτων κοντά σε περιοχές μεγάλων λιμανιών ή πυκνών δρομολογίων.

#### **4.2. Προοπτικές**

Η απεικόνιση των ατυχημάτων σύμφωνα με διαφορετικές παραμέτρους όπως το μέγεθος της διαρροής, ο τύπος των πλοίων, η ηλικία κτλ, μπορεί να προσφέρει στον ερευνητή τα κατάλληλα εργαλεία για την πρόληψη αλλά και την αποτελεσματικότερη αντιμετώπισή τους. Η δημιουργία βάσης δεδομένων όπου παρακολουθούνται σε βάθος χρόνου τα ατυχήματα αυτά προσφέρει τη δυνατότητα της ανακάλυψης «θερμών περιοχών» και τυχόν μετακίνησής τους με το χρόνο. Η ανακάλυψη των περιοχών αυτών έχει μεγάλη σημασία για την καλύτερη κατανόηση του υφιστάμενου προβλήματος και του τρόπου με τον οποίο αυτό σχετίζεται με το χώρο.

Η προσπάθεια για τη δημιουργία μοντέλου εξαγωγής ευαίσθητων ζωνών επιδέχεται βελτίωσης αλλά και περεταίρω διεύρυνσης. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν απλές παραδοχές και συγκεκριμένες αποστάσεις. Η πραγματικότητα όμως είναι πως οι ευαίσθητες περιοχές παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία και κάθε μία μπορεί να επηρεάζεται με διαφορετικό τρόπο και σε διαφορετικό βαθμό από τα περιστατικά ρύπανσης, πράγμα που σίγουρα αξίζει περισσότερη μελέτη. Το μοντέλο που δημιουργήθηκε μπορεί να παραμετροποιηθεί ανάλογα, με τον ορισμό της κατάλληλης απόστασης ασφαλείας για κάθε ευαίσθητη περιοχή, ώστε να προκύψουν ζώνες διαφορετικού πλάτους ανά περίπτωση.

Επιπλέον, εφικτός είναι ο συνδυασμός των ΓΣΠ με δεδομένα τηλεπισκόπισης όπως πολυφασματικές εικόνες και εικόνες από ραντάρ Synthetic Aperture Radar (SAR). Αυτού του είδους οι εικόνες μπορούν να προσφέρουν επιπλέον δεδομένα όσον αφορά στο πάχος κάθε κηλίδας, στη σύστασή της, την έκταση και το σχήμα της. Με τον τρόπο αυτό, ενσωματώνοντας στα μοντέλα της εργασίας τα δεδομένα τηλεπισκόπισης μαζί με πληροφορίες όπως ο εκτιμώμενος χρόνος αντίδρασης από τους αρμόδιους φορείς, το είδος πετρελαιοειδών, οι καιρικές συνθήκες, η ένταση και κατεύθυνση των ανέμων, η μορφολογία του βυθού και τα θαλάσσια ρεύματα, θα βελτιωθεί κατά πολύ περισσότερο η ποιότητα των τελικών χαρτών.



## 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### A. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

#### A1. ΒΙΒΛΙΑ

- Βεντικός Π. Ν., 2005. *Οικονομική Θαλασσίων Μεταφορών III*, ΕΜΠ
- Τριανταφύλλου Γ., 2004. *Πετρελαϊκή Ρύπανση και Θαλάσσιες Μεταφορές, Σημειώσεις μαθήματος*, ΕΜΠ

#### A2. ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΑΡΘΡΑ

- Κουσιόπουλος Γ., Μπολλάνου Χ., 2011. *Θαλάσσιος χωροταξικός σχεδιασμός: Αναγκαιότητα ή μία ακόμα ουτοπία σχετικά με τη ρύθμιση του χώρου στην Ελλάδα*. 9<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο «Περιφερειακή Ανάπτυξη και Οικονομική Κρίση: Διεθνής Εμπειρία και Ελλάδα», 6-7 Μαΐου 2011, Ινστιτούτο Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πάντειο Πανεπιστήμιο
- Παναγιωτίδης Π., 2005. *Το θαλάσσιο οικοσύστημα της Μεσογείου: Ιδιαιτερότητες – βιοποικιλότητα*, ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.

### B. ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

#### B1. ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΑΡΘΡΑ

- Kostas Nittis, 2012. *A strategic research agenda for the Mediterranean Sea*, Towards Integrated Marine Research Strategy and Programmes, Seas Era
- IMO (3 July 2008), ‘‘Relevant information in relation to the Draft Environmental Risk Evaluation Criteria’’. Submitted by Japan .
- Guo et al., 2009, *A numerical oil spill model based on a hybrid method*, Marine Pollution Bulletin 58, (p.726-734).
- Giziakis et al., 2013, *Spatial analysis of oil spills from marine accidents in Greek waters*, SPOUDAI Journal of Economics and Business, Vol. 63 (2013), Issue 3-4, pp. 60-74.
- S.D. Wang, Y.M. Shena and Y.H. Zhengb, 2005, *Two-dimensional numerical simulation for transport and fate of oil spills in seas*, Ocean Engineering 32 (2005) 1556–1571.

- Reed M., Johansen O., Brandvik J., Daling P., Lewis A., Mackay D., Fiocco R. and Prentki R., 1999, Oil Spill Modeling towards the Close of the 20th Century: Overview of the State of the Art, *Spill Science & Technology Bulletin*, Vol. 5, No. 1, pp 3-16, 1999.
- Mervin F. Fingas (1999) The Evaporation of Oil Spills: Development and Implementation of New Prediction Methodology. *International Oil Spill Conference Proceedings: March 1999*, Vol. 1999, No. 1, pp. 281-287.
- Huang, J. C. , 1984. A review of the state-of-the-art of oil spill fate/behaviour models. *Proceedings of the 1983 Oil Spill Conference*, American Petroleum Institute, Washington, D.C. , pp313-337.
- Fingas Merv, 2005, A Review of the Emulsification Tendencies and Long-term Petroleum Trends of Alaska North Slope (ANS) Oils and the “White Paper on Emulsification of ANS Crude Oil Spilled in Valdez”, Environmental Technology Centre Environment Canada Ottawa, Ontario, 2005.
- Ronald M. Atlas, Terry C. Hazen, 2011, Oil Biodegradation and Bioremediation: A Tale of the Two Worst Spills in U.S. History, *Environ Sci Technol*. 2011 August 15; 45(16): 6709–6715. Published online 2011 June 23.
- Ferraro, G., Meyer-Roux, S., Muellenhoff, O., Pavliha, M., Svetak, J., Tarchi, D. and Topouzelis, K., 2009. Long term monitoring of oil spills in European seas. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 30. 627-645p.
- Canessa, R., O’Hara, P., Keller, P., Pelot, R. and Serra-Sogas, N., 2008. Visualization of spatial patterns and temporal trends for aerial surveillance of illegal oil discharges in western Canadian marine waters. *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 56. 825-833p.
- Volckaert, F.A.M., Kayens, G., Schallier, R. and Jacques, T.G., 2000. Aerial surveillance of operational oil pollution in Belgium’s Maritime Zone of Interest. *Marine Pollution Bulletin* 40. 1051-1056p.
- Talley, W., Leung, T. and Jin, D., 2012. Determinants of vessel accident bunker spills. *Transportation Research Part D*. Vol. 17. 605-609p.
- Andrei Yu. Ivanov, Victoria V. Zatyagalova, 2007. A GIS approach to mapping oil spills in the marine environment. *Envisat Symposium*, 2007.
- Paul H. Martin, Eugene J. LeBoeuf, Edsel B. Daniel, James P. Dobbins, Mark D. Abkowitz, 2004. Development of a GIS-based Spill Management Information System. Department of Civil and Environmental Engineering, Vanderbilt University, USA, 2004 Elsevier.

## Γ. ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

- Κορρός Κωνσταντίνος, 2008. Μοντέλο Τύχης/Γήρανσης Κηλίδων Πετρελαίου, Τεύχος Α. ΕΜΠ, ΣΝΜΜ, Τομέας Μελέτης Πλοίου και Θαλασσίων Μεταφορών, Αθήνα 2008.
- Χατζηκωνσταντίνου Αρχοντής, 2008. Μοντέλο Τύχης/Γήρανσης Κηλίδων Πετρελαίου, Τεύχος Β. ΕΜΠ, ΣΝΜΜ, Τομέας Μελέτης Πλοίου και Θαλασσίων Μεταφορών, Αθήνα 2008.
- Παπαδάτος Αλέξιος, 2013. Προσομοίωση τύχης πετρελαιοκηλίδας μετά από ναυτικό ατύχημα στο Αιγαίο. ΕΜΠ, ΣΝΜΜ, Τομέας Μελέτης Πλοίου και Θαλασσίων Μεταφορών, Αθήνα 2013.

## Δ. ΞΕΝΕΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

- Gary Gomes, 2010. Development of an Oil Spill Emergency Mapping System Using Internet GIS. University of Waterloo, Master of Science in Geography Waterloo, Ontario, Canada, 2010

## Ε. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ – ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ (τελευταία προσπέλαση 12/6/2016)

- <http://desktop.arcgis.com/en/documentation/>
- <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/>
- <http://www.skai.gr/news/world/article/140238/>
- <http://www.emsa.europa.eu/implementation-tasks/equasis-a-statistics/item/472.html>
- <http://www.imo.org>
- <http://www.rempec.org>
- **Jesse Theodore**, 2010. GIS Used to Respond to Oil Spill Disaster, **Arcwatch**, July 2010 ([www.esri.com/news/arcwatch/0710/feature.html](http://www.esri.com/news/arcwatch/0710/feature.html))





## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΑΣ ΑΝΑ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ



ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΑΣ ΑΝΑ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ



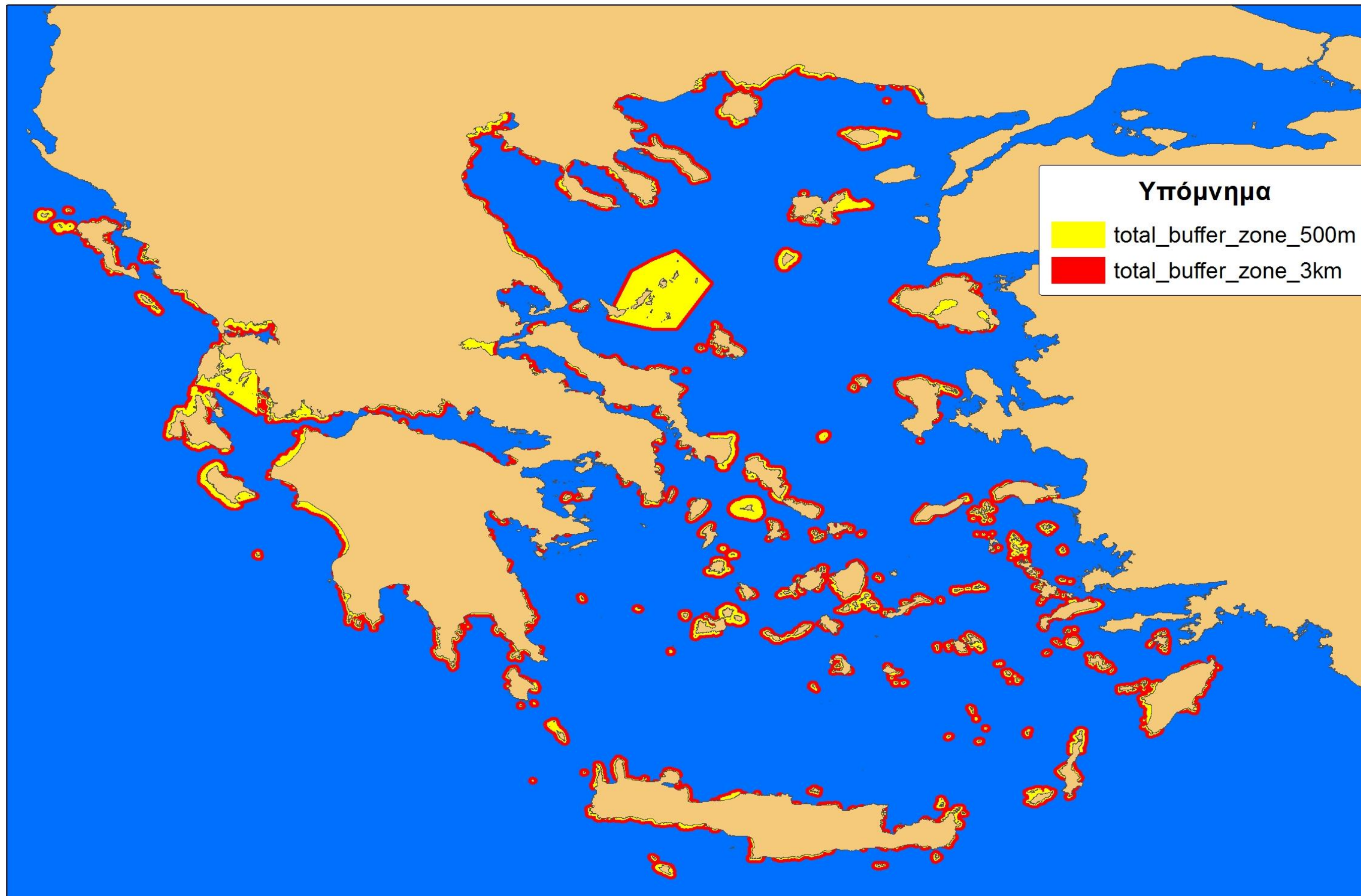
## ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΑΣ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΠΛΟΙΟΥ



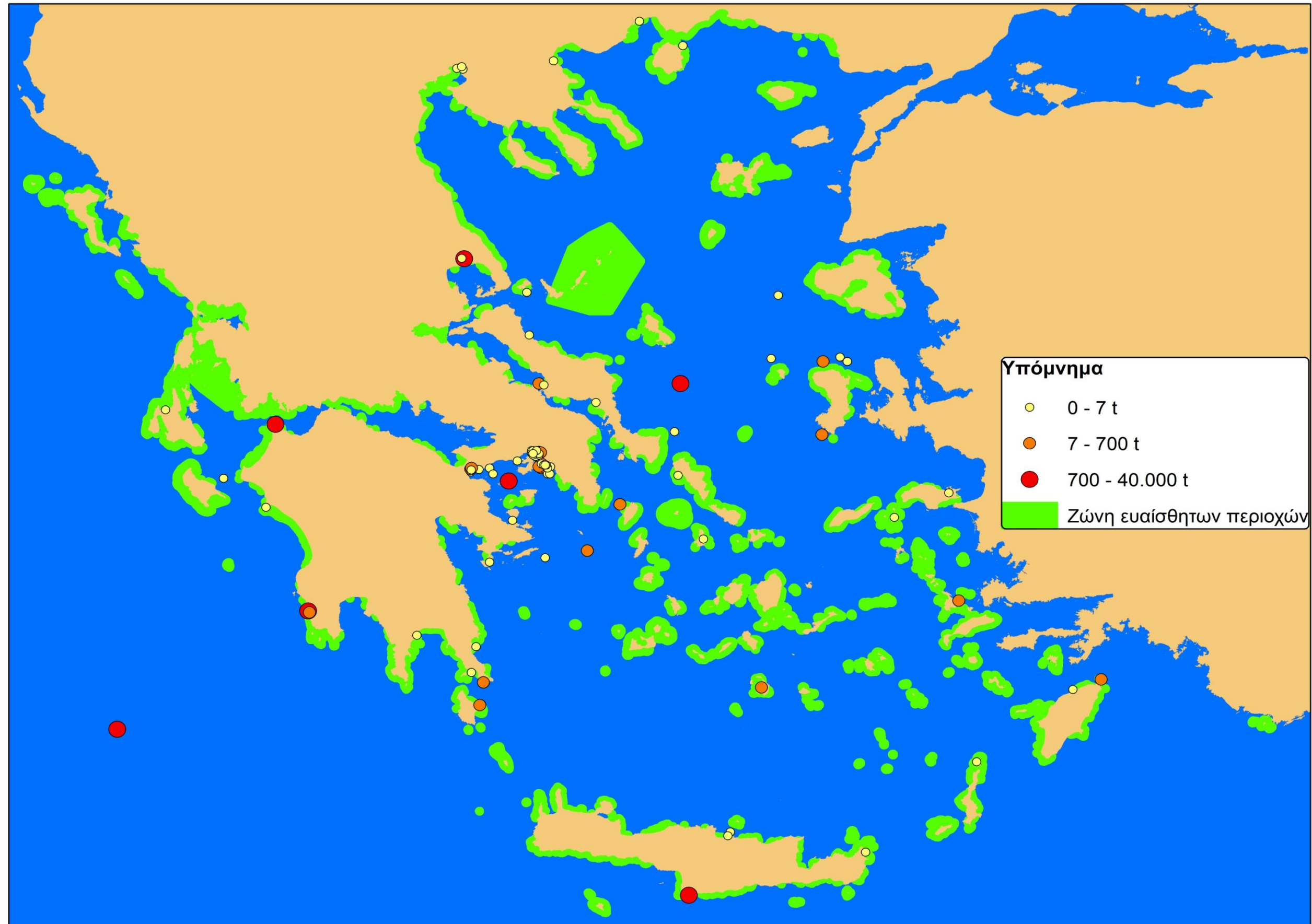
# ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΑΣ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΠΛΟΙΟΥ



ΖΩΝΕΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΕΥΑΙΣΘΗΤΩΝ ΠΡΟΣ ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΕΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ



# ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΑΣ ΚΑΙ ΕΥΑΙΣΘΗΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ



ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΟΠΟΥ ΣΥΝΕΒΗΣΑΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΑΣ

