

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ
ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

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

**« ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΩΦΕΛΕΙΑΣ/ΔΥΣΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ
ΚΗΛΙΔΕΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΑΠΟ ΠΛΟΙΑ »**

Σωτηρόπουλος Φοίβος - Ηλίας

Αθήνα, Απρίλιος 2013

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Ανάλυση ανωφελείας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία» εκπονήθηκε κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2012-2013 στον τομέα θαλάσσιων μεταφορών του τμήματος Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών.

Από τη θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω:

- Τον Επίκουρο καθηγητή Ε.Μ.Π. Βεντίκο Νικόλαο του τμήματος Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών για την ανάθεση-επίβλεψη της διπλωματικής εργασίας. Τον ευχαριστώ για τη συνεργασία που είχαμε, τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε, την εμπιστοσύνη στο πρόσωπό μου, το ενδιαφέρον και την υπομονή που έχει επιδείξει. Η συμβολή του στην υλοποίηση της όλης προσπάθειας ήταν καθοριστική. Τον ευχαριστώ επίσης και για τις ενδιαφέρουσες και ευχάριστες συζητήσεις που έχουμε κάνει.

Επίσης θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς:

- τους καθηγητές του Τμήματος Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών για τις γνώσεις που μου προσέφεραν.

- τους καλούς φίλους-συμφοιτητές που έκανα κατά τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων. Τους θεωρώ πραγματικούς φίλους.

- ιδιαιτέρως, τους γονείς μου Σπύρο και Σοφία Σωτηροπούλου και τον αδερφό μου Έκτωρα για όλα όσα μου έχουν προσφέρει μέχρι τώρα. Τους είμαι πραγματικά ευγνώμων.

Περίληψη

Το θέμα των θαλασσίων μεταφορών και πως αυτό επηρεάζει το θαλάσσιο περιβάλλον αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα θέματα που απασχολούν την παγκόσμια ναυτιλιακή κοινότητα. Όταν, βέβαια, γίνεται λόγος για οικολογικές συνέπειες στο θαλάσσιο περιβάλλον, ενδιαφερόμενος είναι, γενικότερα, κάθε πολίτης κάθε κράτους, παγκοσμίως. Μία από τις κύριες αιτίες ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος είναι η διακίνηση πετρελαιοειδών που λαμβάνει χώρα σε αυτό και γίνεται από πλοία.

Τα πλοία και οι δραστηριότητές τους είναι μία από τις βασικές αιτίες πρόκλησης πετρελαιοκηλίδων στον θαλάσσιο χώρο. Η ανάγκη για τη μελέτη του κόστους αυτών είναι δεδομένη και απασχολεί όλους τους αρμόδιους φορείς. Το κόστος των πετρελαιοκηλίδων εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, σημαντικότεροι από τους οποίους είναι το μέγεθος της κηλίδας, η τοποθεσία του περιστατικού ρύπανσης, το είδος του ατυχήματος, η επίδραση τους στο περιβάλλον, τον τουρισμό και την αλιεία και το είδος του πετρελαιοειδούς.

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η ανάλυση των συνθηκών των ατυχημάτων, και παραγόντων αυτών, που διαμορφώνουν το κόστος των κηλίδων παγκοσμίως. Συγκεκριμένα, γίνεται προσπάθεια ανάπτυξης και κατασκευής ενός πρωτότυπου στατιστικού μοντέλου για τη μελέτη και πρόβλεψη του κόστους των πετρελαιοκηλίδων, το οποίο θα είναι σε θέση να εφαρμοστεί και να παρέχει ικανοποιητική προσέγγιση του πραγματικού κόστους που θα προκύψει. Το συγκεκριμένο μοντέλο αναπτύσσεται χάρη σε στοιχεία που έχουν συλλεχτεί και απαρτίζουν τη βάση δεδομένων της εργασίας αυτής. Η βάση δεδομένων περιέχει πληροφορίες από 250, περίπου, περιστατικά ρύπανσης που σημειώθηκαν

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

παγκοσμίως, κατά το χρονικό διάστημα 1979 – 2009, κυρίως μέσω στοιχείων διεθνούς ταμείου αποζημίωσης για πετρελαική ρύπανση.

Abstract

The issue of maritime transport and how it affects the marine environment is one of the most important issues facing the global shipping community. However every citizen of all the countries is interested of the ecological consequences on the marine environment. One of the main causes of marine pollution is the transport of oil that occurs in the environment that is made from ships.

The ships and their activities are one of the main causes of oil spills in the marine area. The need to study the cost of these is given and its interest is shared by all stakeholders. The cost of oil spills depends on various factors, the most important of which are the spill size, the location of a pollution incident, the type of accident, the impact on the environment, tourism and fishing and the type of oil.

The purpose of this study is to analyze the conditions of the accident and those factors that shape the costs of spills worldwide. Specifically, this project is an attempt to develop a statistical model estimating the total cost of the spills, which will be able to implement and provide a good approximation of the actual costs incurred. The construction of this modeling technique is based on a database which includes data of about 250 pollution incidents that occurred worldwide during the period from 1980 to 2009, mostly through information from the International Oil Pollution Compensation Fund.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	2
Περίληψη	3
Abstract	5
Εισαγωγή	8
Κεφάλαιο 1 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΙΣΗ	14
1.1 Βιβλιογραφική επισκόπηση	15
Κεφάλαιο 2 Η ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	28
2.1 Συμπεριφορά πετρελαίου και ιδιότητες	29
2.2 Φυσικοχημικές μεταβολές στο θαλάσσιο περιβάλλον	30
2.3 Μέσα καταπολέμησης της θαλάσσιας ρύπανσης	35
2.4 Διεθνείς συμβάσεις και κανονισμοί για τη θαλάσσια ρύπανση από πλοία	36
2.5 Συνέπειες ρύπανσης από πετρέλαιο	37
2.5.1 Περιβαλλοντικές συνέπειες	37
2.5.2 Επιπτώσεις στον άνθρωπο	39
2.6 Σημαντικά περιστατικά ρύπανσης των τελευταίων 30 χρόνων	40
Κεφάλαιο 3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	52
3.1 Επιλογή βάσης δεδομένων	53
3.2 Δομή της βάσης δεδομένων	54
3.3 Επεξεργασία της βάσης δεδομένων	58
<hr/>	
Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών	6

Κεφάλαιο 4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ	
 ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΩΝ	91
4.1 Εμπλουτισμός του δείγματος του μοντέλου εκτίμησης του συνολικού κόστους πετρελαιοκηλίδων	92
4.2 Επιλογή παραμέτρων για τη κατασκευή του μοντέλου	94
4.3 Δομή του μοντέλου εκτίμησης του συνολικού κόστους κηλίδας	96
4.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων του μοντέλου εκτίμησης του κόστους πετρελαιοκηλίδων από πλοία	106
4.5 Παραδείγματα εφαρμογής του μοντέλου εκτίμησης συνολικού κόστους	122
4.6 Ανάλυση ευαισθησίας περιστατικών θαλάσσιας ρύπανσης	129
Κεφαλαίο 5 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	136
5.1 Γενικά συμπεράσματα	137
Βιβλιογραφία	140

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Η Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στον Τομέα Μελέτης Πλοίου και Θαλασσίων Μεταφορών, υπό την επίβλεψη του Επίκουρου καθηγητή του Ε.Μ.Π. κ. Νικολάου Π. Βεντίκου, κατά το χρονικό διάστημα Ιανουαρίου 2012 – Φεβρουαρίου 2013.

Βασικός σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η **ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία**. Συγκεκριμένα επιχειρείται μια διερεύνηση, παρουσίαση και ανάλυση των παραμέτρων που επηρεάζουν και καθορίζουν το συνολικό κόστος ρύπανσης από κηλίδες. Η ιδέα για την υλοποίηση αυτής της εργασίας αντλήθηκε από άλλες προσπάθειες αναγωγής του όλου προβλήματος σε μια συστηματική φόρμουλα, ικανή να προβλέπει το κόστος σε μελλοντικά περιστατικά ρύπανσης στη θάλασσα παγκοσμίως.

Πέρα από την ανάλυση των παραγόντων που καθορίζουν το κόστος, κρίθηκε σκόπιμο να εξαχθούν κάποια γενικά συμπεράσματα, που χαρακτηρίζουν το φαινόμενο της πετρελαϊκής ρύπανσης στη θάλασσα. Τα συμπεράσματα αυτά αφορούν ατυχήματα ανά τον κόσμο και αποτυπώνουν με πλήρη σαφήνεια την σχέση κάποιων χαρακτηριστικών της εκάστοτε κηλίδας με το κόστος της.

Αυτό που επιδιώχθηκε ήταν η ανάπτυξη και κατασκευή ενός πρωτότυπου στατιστικού μοντέλου για τη μελέτη και πρόβλεψη του κόστους πετρελαιοκηλίδων, το οποίο θα λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά στοιχεία μίας ενδεχόμενης κηλίδας και κατόπιν θα είναι σε θέση να μας δώσει μία πιθανή προεκτίμηση του κόστους της ρύπανσης, που προξένησε η κηλίδα. Ουσιαστικά, έγινε μία προσπάθεια εξεύρεσης ενός αλγορίθμου που θα εκφράζει το συνολικό κόστος. Για να συμβεί αυτό, πρέπει να διερευνηθούν ποιες είναι πραγματικά οι

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

συνιστώσες που καθορίζουν το κόστος και στη συνέχεια να ενταχθούν στο περιεχόμενο του αλγόριθμου του κόστους που αναζητούμε.

Πρώτο μέλημα ήταν η αναζήτηση στοιχείων, η εξεύρεση, η καταγραφή και εν συνεχεία η ανάλυση τους. Για τον λόγο αυτό, οι πληροφορίες αντλήθηκαν από το διεθνές ταμείο αποζημίωσης για περιστατικά ρύπανσης από κηλίδες (IOPCF), από το οποίο αντλήθηκαν αρχικά 102 περιστατικά, που έλαβαν χώρα σε κράτη μέλη αυτού του ταμείου, κατά το χρονικό διάστημα 1979 – 2007, και στα οποία κλήθηκε να συμβάλει, ενώ στη συνέχεια, κρίθηκε απαραίτητο να εμπλουτιστεί το δείγμα για τη παραγωγή του μοντέλου. Έτσι, μέσω πληροφοριών για τις κηλίδες στις Η.Π.Α. και τη Νορβηγία, αλλά και από τη Διεύθυνση Προστασίας Θαλασσίου Περιβάλλοντος (Δ.Π.Θ.Π.), που είναι αρμόδια για περιστατικά που λαμβάνουν χώρα στην Ελλάδα, τα δεδομένα εμπλουτίστηκαν φθάνοντας περίπου τα 250.

Με βάση τις πληροφορίες αυτές επιλέχθηκαν παράγοντες που επηρεάζουν το συνολικό κόστος κηλίδων, οι οποίοι είναι οι ακόλουθοι:

1. Μέγεθος κηλίδας
2. Είδος ατυχήματος
3. Απόσταση από την ακτή
4. Περιοχή (με την ευρύτερη έννοια) που προκλήθηκε το ατύχημα
5. Αποζημίωση ατόμων που σχετίζονται με την αλιευτική δραστηριότητα

Αυτό που αναλύθηκε ήταν η σχέση ανάμεσα στον κάθε παράγοντα ξεχωριστά και το κόστος. Έτσι προέκυψαν κάποιες συναρτήσεις κόστους ανά ποσότητα πετρελαιοειδούς, από τις οποίες προέκυψαν κάποια χρήσιμα και πολύ ενδιαφέροντα συμπεράσματα.

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Το επόμενο βήμα ήταν να κατασκευαστεί το στατιστικό μοντέλο εκτίμησης κόστους κηλίδων. Έπειτα από την κατασκευή του, δοκιμάστηκε η αποτελεσματικότητά του πάνω στα περιστατικά που γνωρίζαμε αλλά και σε άλλα ατυχήματα με αντικειμενικό σκοπό να προβλεφθεί το κόστος τους. Η σύγκριση της εκτιμώμενης τιμής του μοντέλου με την πραγματική τιμή κόστους, του έδωσε ένα ποσοστό επιτυχίας γύρω στο 70%. Εντούτοις, στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθούν οι αντικειμενικές δυσκολίες του εγχειρήματος, διότι σε πολλά περιστατικά οι πληροφορίες που αντλήθηκαν δεν επαρκούσαν για μία απολύτως ορθή εκτίμηση. Επίσης, στην εξέλιξη του μοντέλου μας διαπιστώθηκε, ότι σίγουρα μια βάση δεδομένων με 250 περιστατικά είναι τελικά αρκετά περιορισμένη σε αριθμό, με κίνδυνο η επεξεργασία της να μας δώσει αποτελέσματα με χαμηλό δείκτη αξιοπιστίας και βεβαιότητας. Οι δυσκολίες αυτές έπρεπε, ωστόσο, να ξεπεραστούν, αφού δυνατότητες για καλύτερη βάση δεδομένων, που να περιλαμβάνει και κόστος απορρύπανση δεν υπήρχαν. Εξάλλου, δεν πρέπει να ξεχνάμε το σκοπό αυτής της δουλειάς, που δεν είναι άλλος από την προσέγγιση του κόστους σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βαθμό και την απόκτηση μίας εικόνας για την τάξη μεγέθους αυτού, παρά την ακριβή πρόγνωσή του. Παρά ταύτα, τουλάχιστον στο κομμάτι των συμπερασμάτων, κατορθώθηκε να προκύψουν κάποιες τάσεις πολύ χρήσιμες και αξιόλογες, που η αληθοφάνεια τους είναι αδιαμφισβήτητη και επιβεβαιώνεται και από τα συμπεράσματα άλλων μοντέλων εκτίμησης, που θα μελετηθούν στη συνέχεια. Αξίζει να αναφερθεί ότι στη συνέχεια έγινε εφαρμογή του μοντέλου για φανταστικά σενάρια πετρελαιοκηλίδων, με σκοπό της προσπάθειας αυτής τη μελέτη της συμπεριφοράς του μοντέλου και πιθανής διόρθωσής του. Δηλαδή, εξετάστηκε αν η συμπεριφορά του ήταν λογική ή όχι και αν τα αποτελέσματα που προέκυπταν μπορούν να κριθούν λογικά με βάση τα στοιχεία του συστήματος.

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσγρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Μετά την εισαγωγή, ακολουθεί η βιβλιογραφική επισκόπηση της Διπλωματικής Εργασίας (πρώτο κεφάλαιο). Σε αυτήν παρουσιάζονται οι βασικές πηγές από τις οποίες αντλήθηκαν πληροφορίες για το θέμα που πραγματεύεται η εργασία. Επίσης, επιχειρείται μία πρώτη επαφή με το φαινόμενο της αντιμετώπισης κηλίδων που προκαλούνται σε θαλάσσιο χώρο και μία ανάλυση των κύριων παραμέτρων που επηρεάζουν και διαμορφώνουν το κόστος απορρύπανσης και τον τρόπο με τον οποίο το πραγματοποιούν.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται η συμπεριφορά του πετρελαίου στην θάλασσα, γίνεται αναφορά στις βασικές φυσικές και χημικές του ιδιότητες και παρουσιάζονται συνοπτικά οι κύριες συνέπειες της ρύπανσης από πετρέλαιο. Επιπλέον, παρουσιάζονται ορισμένα από τα μέσα καταπολέμησης της ρύπανσης και μερικοί τρόποι καταπολέμησης της ρύπανσης των ακτών, ενώ γίνεται και μία αναφορά στην σύμβαση της MARPOL 73/78 και στη Διεθνή Σύμβαση για την Ετοιμότητα, Συνεργασία και Αντιμετώπιση της Ρύπανσης της Θάλασσας από Πετρέλαιο (International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response and Co-operation, 1990 – O.P.R.C.90). Στο τέλος του κεφαλαίου, παρατίθενται ορισμένα από τα σημαντικότερα ατυχήματα των τελευταίων 30 ετών.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η δομή της βάσης δεδομένων και επιχειρείται μία στατιστική ανάλυση των στοιχείων της. Στη συνέχεια γίνεται μια ποσοτική επεξεργασία του κόστους ανά περιπτώσεις, με βάση πάντα τα στοιχεία της βάσης δεδομένων. Από αυτή την ποσοτική επεξεργασία προκύπτουν κάποια ποιοτικά συμπεράσματα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνονται η επιλογή των παραγόντων που επηρεάζουν το συνολικό κόστος και θα απαρτίσουν τις μεταβλητές κατά την αναλυτική παρουσίαση του μοντέλου εκτίμησης συνολικού κόστους κηλίδων και η

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

παρουσίαση της δομής του μοντέλου, αλλά και των αποτελεσμάτων του. Στο τέλος του κεφαλαίου εφαρμόζεται το μοντέλο σε συγκεκριμένα ιστορικά περιστατικά ρύπανσης, που δεν περιλαμβάνονται στη βάση δεδομένων και μελετάται η ευαισθησία του αποτελέσματος σε υποθετικά σενάρια διαφοροποίησης των συνθηκών τους.

Στο πέμπτο κεφάλαιο συνοψίζονται τα κύρια συμπεράσματα της εργασίας, όπως αυτά προκύπτουν από τη μελέτη του στατιστικού μοντέλου εκτίμησης του κόστους κηλίδων του τέταρτου κεφαλαίου.

Στη συνέχεια ακολουθεί η σχετική βιβλιογραφία όλων των άρθρων που χρησιμοποιήθηκαν για την ορθότερη ανάλυση των στοιχείων και τη κατασκευή του μοντέλου εκτίμησης του συνολικού κόστους κηλίδων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

1.1 Βιβλιογραφική επισκόπηση

Το συνολικό κόστος μίας πετρελαιοκηλίδας βασίζεται σε διάφορες παραμέτρους και χαρακτηριστικά ανάλογα με τον τρόπο και το βαθμό που επηρέασε ένα σύνολο ανθρώπων και το περιβάλλον γύρω του. Οι παράγοντες που το επηρεάζουν είναι σύνθετοι και αλληλοεξαρτώμενοι. Κάθε περιστατικό κηλίδας που σημειώνεται, αποτελεί ένα μοναδικό γεγονός με ξεχωριστές συνθήκες, κάτω από τις οποίες λαμβάνει χώρα, και ξεχωριστά χαρακτηριστικά.

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό για την Ασφάλεια στη Θάλασσα [5], το συνολικό κόστος αποδεκτών αξιώσεων αποζημίωσης συνιστά το ποσό αποζημίωσης των φορέων που τους επηρεάζει τα έσοδα και τα έξοδα. Τέτοια είναι το κόστος καθαρισμού και αποκατάστασης του περιβάλλοντος, που επιβαρύνει την τοπική αυτοδιοίκηση, οι υλικές ζημιές, η μείωση των εσόδων λόγω μείωσης τουρισμού ή διακοπής της αλιευτικής δραστηριότητας, που επιβαρύνει και όσους επαγγελματίες σχετίζονται με αυτές και τέλος, το κόστος προληπτικών μέτρων για την ελαχιστοποίηση τέτοιων ζημιών. Όμως, σύμφωνα με την Grey [13], περιλαμβάνει και την ευθύνη του πλοιοκτήτη σε οικονομικούς όρους.

Πολυ σημαντική είναι η ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν το συνολικό κόστος. Αυτά δεν έχουν να κάνουν μόνο με τις συνθήκες, αλλά και με τις συνέπειες του ατυχήματος και της αντιμετώπισής του.

Οι περισσότερες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί συγκλίνουν στο ότι οι βασικοί παράγοντες, που καθορίζουν το συνολικό κόστος, είναι οι ακόλουθοι [6], [7], [15]:

- Μέγεθος της προκληθείσας κηλίδας (spill size).
- Τοποθεσία του συμβάντος (location).

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

- Φυσικά, βιολογικά και οικονομικά χαρακτηριστικά της περιοχής (τουρισμός, αλιεία, περιβάλλον κτλ.)
- Είδος ατυχήματος
- Είδος πετρελαιοειδούς (oil type), που προκαλεί την κηλίδα.

Αργότερα θα αναλυθούν διεξοδικά μέσω της βιβλιογραφίας τα πρώτα 4, αφού για το τελευταίο δεν έχουμε πληροφορίες από τα ατυχήματα. Επίσης, είναι σημαντικό να σημειωθεί πως σε ό,τι αφορά τον παράγοντα των χαρακτηριστικών της περιοχής, επειδή οι δυνατότητες της αλιείας μπορεί να περιοριστούν σημαντικά από μία κηλίδα, επιλέχθηκε στη συνέχεια αυτής της εργασίας, οι περιπτώσεις που περιλαμβάνουν επιπτώσεις σε αυτό τον τομέα, να αποτελέσουν μια βασική μεταβλητή στο πρόγραμμα εκτίμησης του κόστους που θα επιχειρηθεί, αφού διαμορφώνουν διαφορετικό συνολικό κόστος.

Υπάρχουν βέβαια και πολλοί άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν σε μικρότερο όμως βαθμό το συνολικό κόστος. Η Etkin [4] αναλύει όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος καθαρισμού, το οποίο αποτελεί και το μεγαλύτερο μέρος του συνολικού κόστους. Σημαντικότεροι παράγοντες είναι οι στρατηγικές καθαρισμού που θα επιλεγθούν, οι αποφάσεις των αρμοδίων φορέων, η ταχύτητα εντοπισμού και αντιμετώπισης της κηλίδας, οι κανονισμοί καταπολέμησης της εκάστοτε περιοχής, το προσωπικό, η απόδοση ευθυνών σε εκείνους που καλούνται να πληρώσουν για το ατύχημα, το πολιτικο-οικονομικό καθεστώς, η νομοθεσία και η εφαρμογή της, τα κοινωνικά αγαθά. Όπως επισημαίνει ο Yamada [12] η απομάκρυνση του πετρελαίου, που διέρρευσε πριν φτάσει στην ακτή έχει σημαντικές επιδράσεις στη μείωση του κόστους της κηλίδας. Η Etkin παραθέτει και δύο ακόμα βασικά στοιχεία [4], [15], τα οποία θεωρεί εξίσου σημαντικά και ο Ian White [6], [7]. Αυτά είναι οι καιρικές

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

συνθήκες, η κατάσταση της θάλασσας, και η εξέλιξη του φαινομένου του ως προς το χρόνο (σε αυτό περιλαμβάνεται και η εποχή του χρόνου που διαδραματίζεται η τακτική αντιμετώπισης).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα συμπεράσματα της μελέτης της Etkin [3], που είναι τα εξής:

- Τα ανά μονάδα τόνου κόστη είναι υψηλότερα σε περιστατικά κηλίδων με πιο επίμονα και δυσδιάλυτα πετρελαιοειδή.
- Τα ανά μονάδα τόνου κόστη είναι υψηλότερα για μικρότερες σε μέγεθος κηλίδες.
- Τα ανά μονάδα τόνου κόστη είναι υψηλότερα για κηλίδες που συμβαίνουν κοντά σε ακτές και λιμενικές υποδομές παρά για αυτές που παρατηρούνται σε ανοικτές θάλασσες.
- Τα ανά μονάδα τόνου κόστη είναι υψηλότερα για κηλίδες που προσβάλλουν ακτογραμμές.
- Τα ανά μονάδα τόνου κόστη ποικίλουν από ήπειρο σε ήπειρο και είναι πολύ υψηλότερα στις Η.Π.Α. από ότι στην Ασία.

Μία προσέγγιση στο πρόβλημα της πρόβλεψης-εκτίμησης του κόστους αντιμετώπισης της κηλίδας, είναι να βασιστούμε σε περιστατικά, που έχουν σημειωθεί στο παρελθόν, να αναλύσουμε τη συνεισφορά των διαφόρων χαρακτηριστικών του κάθε συμβάντος στη διαμόρφωση του κόστους και με βάση αυτά να αναπτύξουμε ένα μοντέλο ικανό να υπολογίζει το κόστος για υποθετικά ή και πραγματικά σενάρια κηλίδων. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος αντιμετώπισης κηλίδων παρουσιάζονται πιο αναλυτικά στη συνέχεια.

Τοποθεσία πρόκλησης της κηλίδας (location)

Οι περισσότεροι ειδικοί συμφωνούν ότι ο πιο σημαντικός παράγοντας που καθορίζει το κόστος είναι η τοποθεσία εμφάνισης και «δράσης» της κηλίδας, γιατί ουσιαστικά έχει δύο πτυχές: την απόσταση από την ακτή, αφού οι συνέπειες είναι ανάλογες με το μέγεθος της έκτασης των ακτών που ρυπάνθηκαν και επηρέασαν τον τομέα του περιβάλλοντος και της οικονομίας [6],[7], καθώς και το κράτος και την ευρύτερη θαλάσσια περιοχή που συνέβη το ατύχημα, αφού υπάρχει διαφορετική συλλογιστική και αντίληψη, άρα και νομοθεσία και εφαρμογή αυτής, καθώς και επίπεδο και αποτελεσματικότητα εξοπλισμού [4], [16].

Η Etkin [4],[16] αναλύει περιεκτικά τι ακριβώς προσδιορίζει αυτή η μεταβλητή. Η τοποθεσία μόνη της είναι ένα σύμπλεγμα παραγόντων που αφορούν τόσο τη γεωγραφική, την πολιτική και τη νομική εκτίμηση του περιστατικού. Η χρονική στιγμή της διαρροής μπορεί να επηρεάσει βαθιά τη φύση και την ευαισθησία της γεωγραφικής θέσης (εποχή, διάρκεια μέρας, παλιρροιακοί κύκλοι, κτλ.).

Φέρνοντας εξοπλισμό σε μια απομακρυσμένη τοποθεσία ή την κινητοποίηση των πληρωμάτων κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας τον χειμώνα μπορεί να αυξήσει σημαντικά το κόστος. Ο τρόπος σκέψης και η αντίληψη που επικρατεί στην περιοχή ενδιαφέροντος, δηλαδή εκεί που η διαρροή εμφανίζεται μπορεί επίσης να επηρεάσει σημαντικά το τελικό κόστος καθαρισμού. Στις Ηνωμένες Πολιτείες για παράδειγμα, είναι εμφανώς πιο μεγάλες οι αποζημιώσεις σε ίδιες διαρροές περιστατικών αντίστοιχων συνθηκών σε άλλα κράτη. Γι' αυτόν τον λόγο είναι σημαντικός και ο πίνακας που παραθέτει η Etkin [16], όπου δείχνει το κόστος ανά τόνο σε διαρροές ανάλογα τη χώρα αλλά και ανάλογα την ευρύτερη

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

περιοχή ή θάλασσα. Εκεί γίνεται εμφανής η διαφορά του κόστους στην Αμερική, την Ευρώπη και την Ασία, πράγμα που θα διαμορφώσει στη συνέχεια και την κατηγοριοποίηση της μεταβλητής.

Μια κοινωνία που δίνει μεγάλη αξία στη διατήρηση του περιβάλλοντος μπορεί να έχει μεγάλη επιρροή στο κόστος καθαρισμού, ιδίως όσον αφορά την αποκατάσταση της άγριας ζωής και τον εντατικό καθαρισμό των ακτών. Η κάλυψη της διαδικασίας μέσω των M.M.E. αυξάνει συχνά την κοινωνική πίεση να επιστρέψουν οι περιοχές στην αρχική τους κατάσταση πριν την πετρελαιοκηλίδα.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι δημόσιες και κυβερνητικές πιέσεις για το υπεύθυνο κόμμα να προβεί σε ριζοσπαστικές και ακριβές διαδικασίες καθαρισμού μπορεί να μην είναι πάντα προς το συμφέρον της προστασίας περιβάλλοντος ακόμη και αν είναι καλοπροαίρετες, κάτι που αναφέρει η Etkin και σε άλλο άρθρο της [8]. Για παράδειγμα, ενώ μια παραλία μπορεί να δείχνει καθαρή μετά από επιθετικές προσπάθειες καθαρισμού, οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται στη πραγματικότητα μπορεί να οδηγήσουν σε περισσότερες περιβαλλοντικές ζημιές από αυτές τις διαρροές.

Η προσωπική θεώρηση για το τι θεωρούμε «καθαρό», μπορεί να έχει μεγάλη επίδραση στη διαμόρφωση του κόστους. Το κριτήριο, που διατυπώνεται ως «πόσο καθαρό είναι το καθαρό», καθορίζεται και από το κατά πόσο ευαίσθητες περιοχές έχουν προσβληθεί. Για παράδειγμα, μια κηλίδα σε μια βιομηχανική περιοχή, η οποία είναι ήδη επιβαρυνόμενη με πετρελαιοειδή, προφανώς απαιτεί λιγότερη κινητοποίηση από ότι μια κηλίδα σε μια ευαίσθητη, οικολογικά, περιοχή.

Γενικά μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι κηλίδες που λαμβάνουν χώρα σε τοποθεσίες κοντά σε λιμάνια και ακτές είναι σημαντικά περισσότερο ακριβές, όσον αφορά τον καθαρισμό τους, σε σχέση με αυτές που

Ανάλυση ανωφελείας/δυσρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

συμβαίνουν σε ανοιχτές θάλασσες [4], [8], [15]. Αυτό οφείλεται στις οικονομικές συνέπειες που επιφέρουν οι κηλίδες στις ακτές και στο γεγονός ότι οι απαιτήσεις καθαρισμού των ακτών είναι πολύ υψηλές.

Σχετικά με τις κηλίδες που φθάνουν σε ακτές, το είδος των ακτών, το πόσο αυτές είναι αυτό-καθαριζόμενες (εκτεθειμένες σε κυματισμούς και θαλάσσια ρεύματα), η προσβασιμότητα της περιοχής για να μεταφερθούν εξοπλισμός και συνεργεία, η διαθεσιμότητα και το κόστος των υπαρχόντων τεχνικών μέσων καθαρισμού, το πολιτικό καθεστώς υπό το οποίο η διαρροή εμφανίζεται είναι με τη σειρά τους παράγοντες που επηρεάζουν το συνολικό κόστος αντιμετώπισης και καθαρισμού [6],[7],[8].

Μέγεθος πετρελαιοκηλίδας (spill size)

Το μέγεθος της κηλίδας αποτελεί ξεκάθαρα ένα σημαντικό παράγοντα καθορισμού του συνολικού κόστους. Είναι λογικό ότι όσο μεγαλύτερη είναι μια κηλίδα, τόσο περισσότερο πετρέλαιο πρέπει να απομακρυνθεί και άρα τόσο ακριβότερη είναι και η όλη διαδικασία καθαρισμού [4], [16]. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που μικρές διαρροές επιφέρουν μεγαλύτερο κόστος. Η ακτοφυλακή ή άλλος επίσημος έλεγχος απαιτείται για την εποπτεία της κηλίδας κατά την κίνηση της, κάτι που σε μία μεγάλη κηλίδα είναι περιττό [16].

Το κόστος καθαρισμού, σε μία ανάλυση κόστους ανά μονάδα τόνου πετρελαίου που συλλέγεται, μειώνεται σημαντικά όσο αυξάνεται η ποσότητα των πετρελαιοειδών, που πρέπει να συγκεντρωθούν από τη θάλασσα. Με άλλα λόγια, οι μικρότερες κηλίδες είναι πιο ακριβές να καθαριστούν από τις μεγαλύτερες, σε

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

μία ανά μονάδα τόνου ανάλυση και όσο μεγαλύτερη είναι η κηλίδα τόσο μικρότερο είναι το κόστος αντιμετώπισης και καθαρισμού [4], [16].

Όλα τα παραπάνω βρίσκουν την εξήγησή τους στα κόστη τα σχετικά με την επιλογή και κατάστρωση της στρατηγικής αντιμετώπισης, τη μεταφορά, εγκατάσταση και χρήση του εξοπλισμού αντιμετώπισης καθώς και την εκτίμηση της όλης κατάστασης και του προβλήματος από ειδικούς [4], [16]. Συγκεκριμένα, μια μικρή κηλίδα απαιτεί το ίδιο ποσοστό επίβλεψης και προσωπικού με μία άλλη δέκα φορές μεγαλύτερη.

Η κινητοποίηση του ανθρώπινου δυναμικού και του σχετικού εξοπλισμού αντιμετώπισης είναι δεδομένη ακόμη και για μικρές κηλίδες, ενώ τα εργατικά πληρώματα και ο ενοικιασμένος εξοπλισμός κοστίζουν το ίδιο, είτε αυτά χρησιμοποιηθούν είτε όχι [4].

Είναι χαρακτηριστικό, επίσης, αυτό που καταγράφει ο White [6],[7], ότι οι πετρελαιοκηλίδες που συμβαίνουν σε ανοιχτή θάλασσα μπορεί να έχουν χαμηλό κόστος ακόμα και αν το μέγεθος της κηλίδας είναι πολύ μεγάλο. Παραθέτει και παραδείγματα πραγματικών γεγονότων, όπως το Atlantic Empress το 1979.

Φυσικά, βιολογικά και οικονομικά χαρακτηριστικά της περιοχής

Η αλιευτική δραστηριότητα και ο τουρισμός αποτελούν μεγάλο μέρος της οικονομίας μιας παραθαλάσσιας περιοχής. Συνεπώς, όταν θίγονται δημιουργούν μεγάλο τοπικό κοινωνικό πρόβλημα αφού πολλές επιχειρήσεις που βασίζονται σε αυτά δυσλειτουργούν. Μία ενδελεχής ανάλυση τέτοιου περιστατικού περιγράφεται στην Αξιολόγηση Ασφάλειας της θάλασσας Aland μεταξύ Σουηδίας και

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Φινλανδίας [1], η οποία μας βοηθάει να κατανοήσουμε τις συνέπειες για μια κοινωνία.

Η περίπτωση αλιευτικής δραστηριότητας στα υπό μελέτη ατυχήματα θα παίξει σημαντικό ρόλο. Οι δυνατότητες της μπορούν να περιοριστούν σημαντικά μέσω της μόλυνσης των ακτών (οι συνέπειες της παρουσιάζονται σε έρευνα του Διεθνούς Ταμείου Αποζημίωσης για Πετρελαϊκή Ρύπανση (IOPC fund) [11]. Μερικοί λιμένες ενδέχεται να κλείσουν για τη πρόληψη της εξάπλωσης του πετρελαίου, σκάφη μπορεί να χρειαστούν καθαρισμό, τα αλιεύματα μπορεί να μεταναστεύσουν ή να μολυνθούν και να πνιγούν και η ζήτηση για τα ψάρια να μειωθεί. Το σημαντικότερο όμως είναι η πιθανή διακοπή της αλιευτικής δραστηριότητας για μήνες, κάτι που μπορεί να ισοπεδώσει την οικονομία της τοπικής οικονομίας. Εκτός από την εμπορική αλιεία, οι ιχθυοκαλλιέργειες θίγονται συχνά αφού είναι εξαιρετικά ευαίσθητες σε ρυπαντές.

Ο τουρισμός αντιπροσωπεύει εξίσου ένα σημαντικό μέρος του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος (ΑΕΠ) [1]. Αντίθετα με την αλιεία, οι ζημιές στην τοπική οικονομία δύσκολα θα εκτιμηθούν αφού οι τουρίστες επηρεάζονται κυρίως από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης τα οποία καθορίζουν μέχρι ενός σημείου την έκταση του προβλήματος. Το αν το ατύχημα έγινε κατά τη διάρκεια της τουριστικής σεζόν, έχει πολύ μεγάλη σημασία, καθώς και οι θαλάσσιες δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στη περιοχή.

Ακόμη, οι περιβαλλοντικές ζημιές είναι ένας σημαντικός παράγοντας [11]. Η χλωρίδα και η πανίδα που ζουν στον παράκτιο βιότοπο μολύνονται και πνίγονται. Οι τοπικές αρχές οφείλουν να επαναφέρουν το οικοσύστημα στην αρχική του κατάσταση και για να γίνει αυτό θα χρειαστεί αρκετό προσωπικό ή και

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

πολλές φορές φιλοζωϊκοί και περιβαλλοντικοί οργανισμοί που εργάζονται για μήνες για να το πετύχουν αυτό.

Είδος ατυχήματος

Το είδος του ατυχήματος είναι ένας παράγοντας που προσδιορίζει παράλληλα και άλλες παραμέτρους που επηρεάζουν το συνολικό κόστος μιας κηλίδας. Υπάρχουν πολλά είδη ατυχήματος με διαφορετικά χαρακτηριστικά και συνέπειες, όπως η προσάραξη, η σύγκρουση, η βύθιση, η φωτιά, η κακή διαχείριση του φορτίου κ.α.

Η σημασία της μεταβλητής του είδους ατυχήματος επισημαίνεται σε άρθρο των καθηγητών του Ε.Μ.Π. [17], Νικόλαου Βεντίκου και Χαρίλαου Ψαραύτη με τη συμβολή του μεταπτυχιακού φοιτητή Κοντόβα Χρήστου, με τίτλο Μια Εμπειρική Ανάλυση των Δεδομένων του Κόστους Διαρροής του ΙΟΡCF, καθώς αναφέρει πόσο χρήσιμη είναι για τη συνολική στατιστική ανάλυση των δεδομένων. Ενώ στο άρθρο του Ευρωπαϊκού Οργανισμού για την Ασφάλεια στη Θάλασσα [5], αναφέρεται η θέση που έχει η μεταβλητή του είδους ατυχήματος στην κατάστροφη σχήματος ευθυνών και αποζημιώσεων για ζημίες ρύπανσης από πλοία.

Σημαντική για την κατασκευή του μοντέλου αργότερα είναι η ανάλυση που έχει κάνει ο Yamada [12], όπου παραθέτει τα είδη των ατυχημάτων και το ποσοστό τους σε σχέση με το σύνολο των ατυχημάτων του ΙΟΡCF. Από αυτήν γίνεται σαφές ότι οι πιο συχνές κατηγορίες ατυχημάτων είναι η σύγκρουση και η προσάραξη, ενώ ακολουθούν οι περιπτώσεις εκφόρτωσης (είτε ηθελημένα είτε

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

λόγω κακής διαχείρισης του φορτίου) αν τις ενώσουμε μαζί και τέλος, οι περιπτώσεις βύθισης. Ο πίνακας αυτός θα βοηθήσει στη κατηγοριοποίηση αυτής της μεταβλητής στη συνέχεια της εργασίας.

Η απόσταση από την ακτή είναι σαφώς διαφορετική όταν έχουμε προσάραξη ή βύθιση ή λειτουργικές εργασίες εντός λιμένων, η τάξη του μεγέθους κηλίδας είναι διαφορετική για εργασίες εντός λιμένων ή βύθιση, και φυσικά κατ' επέκταση επηρεάζονται και αντιστοίχως το περιβάλλον, η αλιευτική δραστηριότητα και ο τουρισμός. Για παράδειγμα, η επιχείρηση καθαρισμού για μια απλή αλλά μεγάλη κηλίδα, μπορεί να απαιτεί τεράστια κινητοποίηση, αλλά είναι σίγουρο ότι θα ολοκληρωθεί μέσα σε λίγες εβδομάδες. Το ίδιο και οι συνέπειες στο θαλάσσιο σύστημα θα είναι βραχυπρόθεσμες. Όμως, αν η ίδια ποσότητα πετρελαίου διαρρέει λίγο-λίγο και σταδιακά, για μήνες ολόκληρους, από ένα βυθισμένο κύτος πλοίου κοντά σε ακτή, τότε απαιτείται μια τεράστια επιχείρηση αντιμετώπισης που θα συντηρείται και θα επιβλέπεται για όλο αυτό το διάστημα και θα χαρακτηρίζεται από επαναλαμβανόμενους καθαρισμούς και μακροπρόθεσμες συνέπειες σε αλιεία και τουρισμό. Στην περίπτωση αυτή το κόστος θα είναι πολλαπλάσιο από την πρώτη περίπτωση. Για αυτόν τον λόγο αποτελεί μια εξίσου σημαντική μεταβλητή με τις παραπάνω.

Μοντέλο εκτίμησης συνολικού κόστους κηλίδας

Το μοντέλο αυτό που θα δημιουργηθεί στη παρούσα εργασία έχει σκοπό να εκτιμά το συνολικό κόστος μιας διαρροής στη θάλασσα, το οποίο θα περιλαμβάνει

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

κόστος καθαρισμού, περιβαλλοντικές και κοινωνικο-οικονομικές φθορές για υποθετικά αλλά και πραγματικά γεγονότα.

Σε άρθρο, των καθηγητών του Ε.Μ.Π. [17], Νικόλαου Βεντίκου και Χαρίλαου Ψαραύτη με τη συμβολή του μεταπτυχιακού φοιτητή Κοντόβα Χρήστου, με τίτλο Μια Εμπειρική Ανάλυση των Δεδομένων του Κόστους Διαρροής του ΙΟΡCF, γίνονται κατανοητοί οι διαφορετικοί τρόποι που μπορεί κανείς να δημιουργήσει ένα μοντέλο εκτίμησης κόστους. Αξιολογώντας τις 4 μεθοδολογίες που παραθέτονται, και με βάση τα δεδομένα του ΙΟΡCF που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την εργασία επιλέχθηκε η δημιουργία μοντέλου εκτίμησης του συνολικού κόστους.

Παρόμοια μοντέλα έχουν παραχθεί ξανά στο παρελθόν, πληροφορίες από τα οποία αντλήθηκαν για τη δημιουργία ενός διαφορετικού και πρωτότυπου μοντέλου. Από την Etkin [9] το Βασικό Μοντέλο Εκτίμησης Κόστους Πετρελαιοκηλίδας (BOSCEM) είναι αυτό που έδωσε την αρχική ιδέα. Αυτό χρησιμοποιεί περισσότερες μεταβλητές που επηρεάζουν το συνολικό κόστος, δηλαδή εκτός από την περιοχή, τις περιβαλλοντικές και κοινωνικο-οικονομικές της αξίες, το μέγεθος της κηλίδας και το είδος πετρελαίου που δεν συμπεριλήφθηκε στο μοντέλο της παρούσας εργασίας λόγω έλλειψης πληροφοριών για αυτό, χρησιμοποιήθηκαν η μεθοδολογία και η αποτελεσματικότητα αντιμετώπισης της κηλίδας, και η ευπάθεια του νερού. Στο μοντέλο αυτό, όπως και σε εκείνο που περιγράφουν ο Shariari και ο Frost [10], μέσω συλλογής και μελέτης των υπάρχοντων στοιχείων από ατυχήματα, δημιουργούνται συντελεστές ανάλογα με τις συνθήκες της κάθε μίας μεταβλητής, από τους οποίους έπειτα από κατάλληλους μαθηματικούς υπολογισμούς προκύπτει το συνολικό κόστος.

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Σε κάθε μοντέλο [9], [10], περιλαμβάνονται διαφορετικές μεταβλητές αποδεικνύοντας τη διαφορετικότητα στις προσεγγίσεις του συνολικού κόστους. Σύμφωνα λοιπόν με άλλα μοντέλα, η ταχύτητα του αέρα, η εποχή, η διαρροή σε λιμάνια, προκύπτουν ως σημαντικές μεταβλητές ανάλογα με τα στοιχεία που έχουν συλλεξει και μελετήσει.

Η παρουσίαση της παράλληλης μελέτης του ανά τόνου κόστους από τους Shariari και ο Frost [10] καθώς και από την Etkin [3], αλλά και της παράλληλης μελέτης του οριακού κόστους από τον Mark Cohen [14] αλλά και από το άρθρο των καθηγητών του Ε.Μ.Π. [17], είναι σημαντικές για την ορθότερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων και γι' αυτό χρησιμοποιήθηκαν και στη παρούσα εργασία. Το μοντέλο που θα παρατεθεί, έχει αντλήσει πληροφορίες επίσης από τεχνικές παλινδρόμησης (regression), μέθοδο που χρησιμοποίησαν άλλα μοντέλα που μελετήθηκαν [10], [12], [17], [2].

Το άρθρο των Debon και Garcia-Diaz [18] είναι ουσιαστικά αυτό που επηρέασε περισσότερο στη διαμόρφωση και τη δομή του μοντέλου που θα ακολουθήσει. Παρουσιάζει και αναλύει διάφορα είδη στατιστικών μοντέλων, όπως τα Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα (GLM), την πρόσθετη επέκταση τους (GAM) και τις Χαρακτηριστικές Καμπύλες Λειτουργίας Δέκτη (ROC). Αυτό όμως που ουσιαστικά ταιριάζει στα δεδομένα και το στόχο αυτής της εργασίας είναι τα Δέντρα Ταξινόμησης Και Παλινδρόμησης (CART). Στο μοντέλο της εργασίας θα χρησιμοποιηθεί δέντρο ταξινόμησης. Πρόκειται για μια μη παραμετρική μεθοδολογία για θέματα ταξινόμησης, από κατηγοριοποιημένες εξαρτώμενες μεταβλητές. Κύριος στόχος της είναι να δώσει ένα ακριβές σύνολο απο κατανεμημένα – τακτοποιημένα δεδομένα . Βοηθάει στην κατανόηση των μεταβλητών ή των αλληλεπιδράσεων των μεταβλητών οι οποίες είναι υπεύθυνες για ένα συγκεκριμένο φαινόμενο το οποίο παρατηρείται. Σε αυτό ο αρχικός κόμβος

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

χωρίζεται σε δύο ή περισσότερα μέρη ανάλογα τις μεταβλητές διαχωρισμού. Αυτό επαναλαμβάνεται τόσες φορές όσες ο αριθμός των μεταβλητών που θα χρησιμοποιηθούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ

2.1 Συμπεριφορά πετρελαίου και ιδιότητες

Το πετρέλαιο αποτελεί τη σπουδαιότερη σήμερα φυσική πηγή ενέργειας και οι διάφορες προσμίξεις του εκμεταλλεύονται ποικιλοτρόπως από τον άνθρωπο. Ακατέργαστο, βρίσκεται σε μορφή υγρού πετρώματος. Είναι η κοινή ονομασία μίγματος υδρογονανθράκων, δηλαδή ουσιών που περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο, κατά ένα μεγάλο μέρος της σειράς των αλκανίων, που όμως περιέχει και αρκετούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, καθώς και άλλες οργανικές ενώσεις και το οποίο βρίσκεται μέσα σε πορώδη πετρώματα στα ανώτερα στρώματα μερικών περιοχών τού φλοιού της Γης. Τα δύο βασικά του στοιχεία βρίσκονται σε ποσοστό (κατά βάρος) μεταξύ 83% και 87% για τον άνθρακα και μεταξύ 11% και 14% για το υδρογόνο. Οι ποσότητες άλλων στοιχείων είναι πολύ μικρές, εκτός από το θείο, το οποίο μπορεί να φθάσει σε περιεκτικότητα το 8% (πετρέλαιο Ιράκ).

Το ορυκτό πετρέλαιο, ή «αργό πετρέλαιο» όπως λέγεται, μπορεί να ποικίλει στην εμφάνιση, τη σύνθεση, και την καθαρότητα. Λαμβάνοντας υπόψη τη σύνθεση των πετρελαίων, αυτά κατατάσσονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

1. Παραφινικά πετρέλαια. Αυτά περιέχουν στερεή παραφίνη και κατά την απόσταξη δίνουν σημαντική αναλογία ελαφρών κλασμάτων που αποτελούνται αποκλειστικά από κεκορεσμένους υδρογονάνθρακες της αλειφατικής σειράς. Και τα μεν πρώτα της σειράς αυτής μεθάνιο, αιθάνιο, προπάνιο και βουτάνιο παρατηρούνται και στα αέρια που συνοδεύουν το πετρέλαιο στην εξόρυξή του.
2. Ασφαλτικά πετρέλαια. Αυτά δίνουν περισσότερο βαρέα κλάσματα όπως μαζούτ και ορυκτέλαια. Τα ελαφρά κλάσματα των πετρελαίων αυτών

Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

αποτελούνται κυρίως από κεκορεσμένους κυκλικούς υδρογονάνθρακες (ναφθένια) της πολυμεθυλενικής σειράς.

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

Μερικές από τις ιδιότητες των πετρελαίων συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Τα πετρέλαια είναι υγρά και το χρώμα τους ποικίλει από ανοικτό κίτρινο μέχρι μουντό μαύρο (ασφαλτενικά πετρέλαια). Μπορεί να έχουν πράσινο (παραφινικό) ή μπλε (ναφθενικό) φθορισμό. Η οσμή τους είναι δυσάρεστη λόγω της παρουσίας ενώσεων θείου.
- Το ιξώδες τους ποικίλει και είναι συνάρτηση της περιεκτικότητας σε ελαφρά κλάσματα. Είναι πολύ εύφλεκτα (σημείο ανάφλεξης μικρότερο των 30 °C).
- Το ειδικό τους βάρος ποικίλει από 0,75 (παραφινικό πετρέλαιο) μέχρι 1,06.
- Πριν από τη μεταφορά, το αργό πετρέλαιο αφυδατώνεται και σταθεροποιείται για να απομακρυνθούν τα μη συμπυκνούμενα και ασφυξιογόνα αέρια, το νερό και οι προσμίξεις.

2.2 Φυσικοχημικές μεταβολές στο θαλάσσιο περιβάλλον

Ύστερα από τη διαρροή τους στη θάλασσα, τα πετρέλαια υπόκεινται σε διάφορες φυσικοχημικές μεταβολές, ανάλογα με τη φύση τους και τις

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

ωκεανολογικές συνθήκες. Αυτές οι μεταβολές θα επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό την επιλογή των τεχνικών καταπολέμησης του πετρελαίου, που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν.

Τα πετρελαιοειδή, γενικά διαχωρίζονται σε εμμένοντα (persistent) και μη εμμένοντα (non persistent), ανάλογα με τις φυσικές και χημικές διεργασίες που καταγράφονται με την εισαγωγή τους στο θαλάσσιο περιβάλλον. Εμμένοντα θεωρούνται εκείνα τα πετρελαιοειδή τα οποία λόγω της χημικής τους σύστασης, όταν διαρρέουν στην θάλασσα αποικοδομούνται με αργούς ρυθμούς και εξαπλώνονται, με αποτέλεσμα την ανάγκη λήψης άμεσων μέτρων για την καταπολέμηση της επακόλουθης ρύπανσης. Αντιθέτως, τα μη εμμένοντα με την είσοδο τους στο θαλάσσιο περιβάλλον, υπόκεινται, σε φυσικό διασκορπισμό ή εξατμίζονται γρήγορα και δεν είναι πάντα απαραίτητο να ληφθούν μέτρα για την καταπολέμηση τους. Οι φυσικοχημικές μεταβολές των πετρελαιοειδών είναι οι εξής [12]:

Εξάπλωση (spreading): Το πλέον προφανές χαρακτηριστικό του πετρελαίου που διαρρέει στην επιφάνεια της θάλασσας είναι η τάση του να διασκορπίζεται οριζόντια, κάτω από τη δράση των συνδυασμένων δυνάμεων βαρύτητας, ιξώδους και επιφανειακής τάσης. Αρχικά το πετρέλαιο εξαπλώνεται σαν συμπαγής (συναφής) κηλίδα και μετά από λίγες ώρες το πάχος του πετρελαίου θα μειωθεί κατά πολύ και η επιφανειακή τάση διαδέχεται τη βαρύτητα σαν κύρια δύναμη εξάπλωσης. Τυπικά, το πετρέλαιο που διαρρέει σε νερό θα σχηματίσει ένα λεπτό φιλμ, του οποίου το εσωτερικό τμήμα έχει μεγαλύτερο πάχος απ' ό τι στις άκρες. Η ταχύτητα εξάπλωσης εξαρτάται από το πάχος της κηλίδας, τις ιδιότητες του πετρελαίου, την κατάσταση της θάλασσας κλπ. Η μετάβαση από τη μια φάση εξάπλωσης στην άλλη γίνει πιο αργά για μεγάλο όγκο πετρελαίου. Τα

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

περισσότερα είδη αργού πετρελαίου εξαπλώνονται σε στρώμα πάχους περίπου 0,3 mm εντός 12 ωρών. Όταν δεν υπάρχουν άλλες επιδράσεις, η εξάπλωση συνεχίζεται μέχρις ότου το πετρέλαιο σχηματίσει στρώμα πάχους 0,5 μικρά (1 μικρό = 103 χιλιοστά).

Εξάτμιση (evaporation): Είναι η διαδικασία μεταφοράς μέρους της μάζας του πετρελαίου από την κηλίδα στην ατμόσφαιρα. Η διεργασία αυτή λαμβάνει χώρα μέσα σε λίγες ώρες ύστερα από τη διαρροή και τα πλέον πτητικά κλάσματα μίας πετρελαιοκηλίδας χάνονται στην ατμόσφαιρα με ρυθμό που καθορίζεται από την ταχύτητα του ανέμου, τη θερμοκρασία και τον τύπο του πετρελαίου. Όταν η θάλασσα είναι ταραγμένη ο ρυθμός εξάτμισης αυξάνεται, γιατί διευκολύνεται η απώλεια πετρελαίου από τις κορυφές των κυμάτων, υπό μορφή σταγονιδίων. Μεγάλες ταχύτητες ανέμου και υψηλές θερμοκρασίες αυξάνουν επίσης τους ρυθμούς εξάτμισης. Μέσα σε 24 περίπου ώρες τα περισσότερα είδη αργού πετρελαίου έχουν χάσει το 25-30% των ελαφρύτερων συστατικών τους. Τα αργά και τα καύσιμα πετρέλαια εξατμίζονται πολύ λίγο ως καθόλου. Τα ελαφρά προϊόντα διύλισης, όπως βενζίνη, κηροζίνη και πετρέλαιο ντήζελ θα εξατμισθούν σχεδόν τελείως σε διάστημα ωρών, δημιουργώντας κίνδυνο πυρκαγιάς σε κλειστές περιοχές, όπως τα λιμάνια. Η εξάτμιση προκαλεί αύξηση της πυκνότητας (και του ιξώδους) η οποία διαρκεί μια βδομάδα. Το υπόλοιπο πετρέλαιο που παραμένει στη θάλασσα έχει μεγαλύτερη πυκνότητα και ιξώδες απ' ότι το αρχικό.

Γαλακτωματοποίηση (emulsification): Πολλοί τύποι αργού πετρελαίου εμφανίζουν την τάση να απορροφούν νερό σχηματίζοντας γαλακτώματα πετρελαίου - νερού. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται ο όγκος της κηλίδας κατά 3 - 4 φορές. Το ποσοστό του νερού στο γαλάκτωμα μπορεί να φτάσει το 75 - 80%. Καθώς το ποσοστό αυτό αυξάνεται το χρώμα μεταβάλλεται μεταξύ μαύρου,

Ανάλυση ανωφελείας/δυσγρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

πορτοκαλί και κόκκινου. Η ταχύτητα γαλακτωματοποίησης εξαρτάται από την κατάσταση της θάλασσας. (εύκολα σε ταραγμένη θάλασσα και δύσκολα σε ήρεμη). Η διαδικασία της απορρόφησης του νερού ολοκληρώνεται σε μερικές ώρες. Η όλη διαδικασία δυσκολεύει την εξάτμιση και την όλη διαδικασία καθαρισμού. Όταν τα γαλακτώματα είναι ιδιαίτερα σταθερά, έχουν καφέ σκούρο χρώμα, περιέχουν 80% νερό και συνήθως ονομάζονται "chocolate mousse".

Φωτοχημική οξείδωση (photochemical oxidation): Είναι η επίδραση του οξυγόνου και της ηλιακής ακτινοβολίας στην κηλίδα. εξαρτάται από το πάχος του "φιλμ". Υπό την επίδραση έντονου ηλιακού φωτός, λεπτά "φιλμ" διασπώνται με ταχύτητες 0,1% την ημέρα. Η φωτοχημική οξείδωση παχέων στρωμάτων μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ενώσεων μεγάλου μοριακού βάρους (πχ. κομμάτια πίσσας) με μεγάλους χρόνους ζωής.

Διάλυση (dissolution): Οι απώλειες από διάλυση είναι σχετικά μικρές, αφού οι περισσότεροι υδρογονάνθρακες από τους οποίους αποτελείται το πετρέλαιο έχουν μικρή διαλυτότητα στο νερό της θάλασσας. Εκείνα τα συστατικά του πετρελαίου που μπορούν να διαλυθούν στο νερό, απομακρύνονται μέσω της εξάτμισης, η οποία κατά κανόνα προηγείται της διάλυσης. Στην πραγματικότητα, όσο αλμυρότερη είναι η θάλασσα (όπως συμβαίνει στη Μεσόγειο), τόσο ασθενέστερη είναι η διάλυση.

Πετρέλαιο στο νερό: Αν η ροή στην επιφάνεια του νερού είναι τυρβώδης, το πετρέλαιο είναι δυνατόν να διασπασθεί σε σταγονίδια που αιωρούνται στο νερό. Τότε η κηλίδα δεν επηρεάζεται από τον άνεμο και μπορεί να ξανασηματισθεί σε κάποια απόσταση από την περιοχή που έγινε η αρχική διαρροή.

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσγρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Καθίζηση (sedimentation): Συμβαίνει σε μερικά βαριά παράγωγα του πετρελαίου, τα οποία βυθίζονται στο νερό. Προκαλείται επίσης με προσκόλληση σωματιδίων άμμου στο πετρέλαιο. Αλλαγές της θερμοκρασίας μπορούν να προκαλέσουν παροδική βύθιση (και στη συνέχεια ανάδυση) του πετρελαίου.

Βιοαποικοδόμηση (biodegradation): Η βιοαποικοδόμηση του πετρελαίου από βακτηρίδια που ζουν στη θάλασσα, συμβάλλει σημαντικά στη μετατροπή του πετρελαίου σε οξειδωμένα προϊόντα. Ο ρυθμός αποικοδόμησης εξαρτάται από τη θερμοκρασία, τις θρεπτικές ουσίες, την ύπαρξη οξυγόνου και τον τύπο πετρελαίου. Επειδή τα βακτηρίδια είναι ενεργά στη διαχωριστική επιφάνεια πετρελαίου - νερού, ο ρυθμός αποικοδόμησης αυξάνεται όταν σχηματίζονται λεπτές μεμβράνες ή σταγονίδια διασκορπισμένου πετρελαίου σε μεγάλη επιφάνεια. Τα ελαφρότερα κλάσματα αποικοδομούνται γρηγορότερα απ' ό,τι τα κλάσματα μεγαλύτερου μοριακού βάρους. Οι πλέον ευνοϊκές θερμοκρασίες για μικροβιακή ανάπτυξη είναι πάνω από 25° C. Κάτω των 5° C οποιαδήποτε ανάπτυξη σταματά. Η διαλυτότητα του οξυγόνου στο θαλασσινό νερό είναι χαμηλή (6 έως 8 mg ανά λίτρο) σε σύγκριση με τις ποσότητες που απαιτούνται για πλήρη οξείδωση των υδρογονανθράκων: 3 έως 4 mg οξυγόνου ανά mg υδρογονάνθρακα για μετατροπή σε CO₂ και H₂O.

Κίνηση: Ο μηχανισμός της επιφανειακής κίνησης του πετρελαίου υπό την επίδραση του ανέμου δεν είναι πλήρως γνωστός, αλλά έχει βρεθεί εμπειρικά ότι το πετρέλαιο κινείται κατά την κατεύθυνση του ανέμου με ταχύτητα που είναι περίπου το 3% της ταχύτητας του ανέμου. Όταν υπάρχουν επιφανειακά ρεύματα, θα προστεθεί στην πιο πάνω ταχύτητα και η ταχύτητα του ρεύματος.

2.3 Μέσα καταπολέμησης της θαλάσσιας ρύπανσης

Η ρύπανση της θάλασσας από πετρελαιοειδή έχει σοβαρές επιπτώσεις για το φυσικό περιβάλλον και πολλές φορές προκαλεί ανεπανόρθωτες οικολογικές καταστροφές. Είναι επίσης αυτονόητο ότι όσο πιο γρήγορη και αποτελεσματική είναι η επέμβαση για την αντιμετώπιση ενός περιστατικού ρύπανσης, τόσο μειώνονται οι κίνδυνοι για το περιβάλλον. Παρακάτω, παρουσιάζονται κάποια από τα σημαντικότερα μέσα καταπολέμησης της θαλάσσιας ρύπανσης:

1. **Πλωτά φράγματα** (oil containment booms). Τα φράγματα είναι συσκευές που έχουν ειδικά κατασκευαστεί για τον έλεγχο της κίνησης του πετρελαίου στην επιφάνεια της θάλασσας. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εγκλωβισμό, τη συγκέντρωση και την κατεύθυνση των κηλίδων πετρελαίου.

2. **Πετρελαιοσυλλέκτες** (oil skimmers). Είναι μέσα μηχανικής ανάκτησης πετρελαίου που έχουν ειδικά κατασκευαστεί για να συλλέγουν το πετρέλαιο (ή το μίγμα νερού - πετρελαίου) από την επιφάνεια της θάλασσας, χωρίς να αλλάξουν τα φυσικά ή και τα χημικά χαρακτηριστικά του.

3. **Σκάφη Περισυλλογής** (Skimmer Vessels). Είναι σκάφη ειδικού τύπου που έχουν προσαρμοσμένο με ειδική σχεδίαση κάποιο τύπο συσκευής περισυλλογής και χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση του επιφανειακού στρώματος του ρύπου από τη θάλασσα.

4. **Χημικά διασκορπιστικά πετρελαίου**. Τα διασκορπιστικά, είναι μίγματα στα οποία περιλαμβάνονται επιφανειακά ενεργές ουσίες, οι οποίες μειώνουν την επιφανειακή τάση μεταξύ νερού και πετρελαίου. Η δράση τους καθιστά δυνατή τη

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

διάσπαση μιας πετρελαιοκηλίδας σε πολύ μικρά σταγονίδια που διασκορπίζονται γρήγορα στην υδάτινη στήλη λόγω της φυσικής κίνησης του νερού.

Άλλα μέσα που χρησιμοποιούνται είναι οι απορροφητικές πετσέτες και φράγματα, οι γεννήτριες, οι αντλίες και οι κινητές δεξαμενές.

Επίσης αναφέρονται συνοπτικά μερικά από τα παράκτια μέσα καταπολέμησης:

- Περισυλλογή του πετρελαίου και των υλικών που προσβλήθηκαν από αυτό (χειρωνακτικά και μηχανικά).
- Έκπλυση του πετρελαίου (με νερό, μερικές μη μεσογειακές χώρες χρησιμοποιούν σε ορισμένες περιπτώσεις και χημικά διασκορπιστικά πετρελαίου).
- Καύση του πετρελαίου και των υλικών που έχουν προσβληθεί από πετρέλαιο.
- Αποικοδόμηση του πετρελαίου με την επίδραση φυσικών φαινομένων.

2.4 Διεθνείς σύμβασεις και κανονισμοί για τη θαλάσσια ρύπανση από πλοία

Οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν εδώ και χρόνια μία από τις πλέον παγκοσμιοποιημένες ανθρώπινες δραστηριότητες. Η ανάγκη θεσμοθέτησης διεθνών πλαισίων εντός του οποίου θα λειτουργούν και θα ορίζονται ικανοποιείται

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

μέσω του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (International Maritime Organization, I.M.O.), του πρώτου διεθνούς φορέα με αποκλειστική ενασχόληση με τα θέματα της ασφαλούς ναυσιπλοΐας και της διατήρησης και προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Η πιο βασική σύμβαση του IMO είναι η MARPOL 73/78 που αναφέρεται σε κανονισμούς που πρέπει να ακολουθούν τα πλοία για την αποφυγή της θαλάσσιας ρύπανσης. Σε ότι αφορά την εργασία αυτή, η σημαντικότερη συνθήκη από τον I.M.O είναι η Διεθνής Σύμβαση για την Ετοιμότητα, Συνεργασία και Αντιμετώπιση της Ρύπανσης της Θάλασσας από Πετρέλαιο (International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response and Co-operation, 1990 – O.P.R.C.90). Οι βασικοί άξονες πάνω στους οποίους κινήθηκε η συγκεκριμένη συνθήκη είναι οι εξής [20]:

- Καθιέρωση ύπαρξης πάνω στα πλοία σχεδίου αντιμετώπισης εκτάκτου ανάγκης ρύπανσης εξαιτίας διαρροής πετρελαίου.
- Καθιέρωση εγκατάστασης πάνω στα πλοία κατάλληλου εξοπλισμού για την αντιμετώπιση πιθανής διαρροής πετρελαιοειδών στη θάλασσα.
- Ενημέρωση, εξάσκηση και εξοικείωση των πληρωμάτων σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης.
- Αναγκαιότητα άμεσης αναφοράς συμβάντων ρύπανσης στην πλησιέστερη αρμόδια αρχή.

2.5 Συνέπειες ρύπανσης από πετρέλαιο

2.5.1 Περιβαλλοντικές συνέπειες

Ένα στρώμα πετρελαίου απλωμένο στην επιφάνεια της θάλασσας εμποδίζει τις εναλλαγές αέρα/θάλασσας, που είναι απαραίτητες για τους θαλασσίους βιολογικούς κύκλους. Το στρώμα αυτό του πετρελαίου [21]:

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

- μειώνει στο ελάχιστο την ανανέωση του νερού με το οξυγόνο του αέρα
- εμποδίζει τις ακτίνες του ήλιου να εισχωρήσουν βαθιά στη θάλασσα για τη φωτοσύνθεση
- προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του νερού
- προκαλεί υπερβολική ανάπτυξη μικροοργανισμών που καταναλώνουν οξυγόνο

Οι επιπτώσεις του πετρελαίου στο περιβάλλον είναι ποικιλόμορφες και πολύπλοκες. Μερικές εμφανίζονται αμέσως, άλλες είναι μακροχρόνιες. Επιδρούν σε διαφορετικό βαθμό τόσο στο ζωικό όσο και στο φυτικό βασίλειο της θάλασσας. Τα μαλάκια και τα φυτά είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε αυτή τη ρύπανση γιατί δηλητηριάζονται και πεθαίνουν από ασφυξία. Το ίδιο συμβαίνει και με τα ψάρια εκείνα που δεν εγκαταλείπουν έγκαιρα τη ρυπασμένη περιοχή. Η πίσσα που εκβράζεται στις παραλίες καταστρέφει τους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς, ενώ έχει υπολογιστεί ότι απαιτούνται 2 - 3 χρόνια για να αποκατασταθεί μερικώς η παράκτια χλωρίδα. Ως προς τα πουλιά οι επιπτώσεις της ρύπανσης είναι δραματικές. Τα φτερά τους καλύπτονται από πετρέλαιο, δεν μπορούν να πετάξουν, πεθαίνουν από το κρύο γιατί δεν έχουν πλέον το μονωτικό στρώμα των φτερών και των πούπουλων, ενώ όσα επιβιώνουν, δηλητηριάζονται και πεθαίνουν στην προσπάθειά τους να απαλλαγούν από το πετρέλαιο.

Από οικονομικής και οικολογικής απόψεως, η απώλεια μεγάλων ποσοτήτων πετρελαίου που για να δημιουργηθεί από τη φύση χρειάστηκαν εκατομμύρια χρόνια είναι μια σημαντική απώλεια για τον πλανήτη, αφού η φυσική αυτή πηγή

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

δε βρίσκεται σε αφθονία. Υπολογίζεται ότι παγκοσμίως διαρρέουν στη θάλασσα περίπου 1 εκατομμύριο τόνοι πετρελαίου το χρόνο.

2.5.2 Επιπτώσεις στον άνθρωπο

Εκτός από τις καταστρεπτικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, αξιοσημείωτες είναι και οι δυσμενείς επιπτώσεις των πετρελαιοκηλίδων στην αλιεία και τον τουρισμό στις περιοχές που πλήττονται. Ακόμα πιο σημαντική είναι η επιρροή στην υγεία του ανθρώπου [22]. Εκτός από τη δηλητηρίαση, που προκαλείται από την παρατεταμένη εισπνοή προϊόντων πετρελαίου, η κατανάλωση ορισμένων θαλασσίων ζώων (ψάρια, οστρακόδερμα, οστρακοειδή) που ήλθαν σε επαφή με το πετρέλαιο μπορεί να είναι επικίνδυνη για τον άνθρωπο, λόγω σωρευτικών επιπτώσεων. Τις περισσότερες όμως φορές, οι επιβλαβείς επιπτώσεις της ρύπανσης γίνονται έμμεσα αντιληπτές μέσω των οικονομικών και οικολογικών επιπτώσεων: Υποβάθμιση χώρων αναψυχής που σε όλες σχεδόν τις αναπτυγμένες χώρες είναι θεμελιώδους οικονομικής σημασίας. Ζημιά σε βιολογικές πηγές, θαλάσσια πανίδα και χλωρίδα και κατά συνεπεία εμπόδιση ορισμένων θαλασσίων δραστηριοτήτων. Μείωση της ποιότητας του θαλασσινού νερού με επιπτώσεις στις πολλαπλές χρήσεις του.

2.6 Σημαντικά περιστατικά ρύπανσης των τελευταίων 30 χρόνων

Στη συνέχεια περιγράφονται ορισμένα από τα πιο σημαντικά, σε συνολικό κόστος και σε μέγεθος κηλίδας ατυχήματα παγκοσμίως, που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα διπλωματική εργασία:

PRESTIGE



Το απόγευμα της τετάρτης 13 Νοεμβρίου 2002, το δεξαμενόπλοιο PRESTIGE (DWT 81.564) μεταφέροντας 77.000 τόνους βαριών καυσίμων, υπέστη ζημιά στη γάστρα κατά τη διάρκεια θαλασσοταραχής στη βόρεια Ισπανία. Υπέστη σοβαρή κλίση και κινήθηκε προς την ακτή με τη βοήθεια ρυμουλκών. Του απαγορεύτηκε η προσέγγιση σε κάποιο λιμάνι, οπότε τα ρυμουλκά το κατεύθυναν προς τον Ατλαντικό. Παρόλο που καταβλήθηκαν προσπάθειες να περιοριστεί η καταπόνηση του σκάφους αυτό έσπασε στα δύο 6 μέρες αργότερα και ενώ έπλεε 170 χιλιόμετρα δυτικά από το Βίγκο, όπου και βυθίστηκε κάποιες ώρες αργότερα σε βάθος 2 μιλίων. Οι τόνοι της κηλίδας που δημιουργήθηκε ήταν 63.272. Λόγω ισχυρών ανέμων απλώθηκε σε μεγάλη ακτίνα, με τη ρύπανση να πλήττει αρχικά τη

Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

βραχώδη ακτή της Γαλικίας και στη συνέχεια όλη τη βόρεια ακτή της Ισπανίας και τις ακτές του Ατλαντικού στη Γαλλία. Η αντίδραση, αν και ήταν η μεγαλύτερη διεθνής προσπάθεια που καταβλήθηκε ποτέ, 1.900 χιλιόμετρα ακτών ρυπάνθηκαν με αποτέλεσμα μια τεραστίων διαστάσεων οικολογική καταστροφή. Το συνολικό κόστος ξεπέρασε τα 400.000.000 \$.

HEBEI SPIRIT



Την 7^η Δεκεμβρίου 2007, το δεξαμενόπλοιο HEBEI SPIRIT χτυπήθηκε από γερανοφόρα φορηγίδα που ανήκε στην Samsung Heavy Industries, με αποτέλεσμα μία μεγάλη πετρελαιοκηλίδα στη Νότιο Κορέα με πολύ μεγάλες περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις. Αποτελεί τη δυσχερέστερη πετρελαιοκηλίδα της Νότιας Κορέας ποτέ, με διαρροή 10.900 τόνους πετρελαίου κοντά στην ακτή Mallipo στην επαρχία Taean, που θεωρείται μια από τις πιο όμορφες και δημοφιλείς παραλίες της χώρας.

ΝΑΚΗΟΔΚΑ



Στις 2 Ιανουαρίου του 1997, στη θάλασσα της Ιαπωνίας (λίγο έξω από τα νησιά Όκι), το ρωσικό δεξαμενόπλοιο με φορτίο περίπου 19.000 τόνους βαρέος μαζούτ, κατά τη διαδρομή από την Σαγκάη της Κίνας προς το Πετροπάβλοφσκ στη Ρωσία έσπασε σε θυελλώδη καιρό. 31 μέλη πληρώματος διασώθηκαν από σκάφη διάσωσης, όμως το ίδιο δε συνέβη με τον αξιωματικό του σκάφους που δυστυχώς πνίγηκε. Το πρυμναίο τμήμα του δεξαμενόπλοιου βυθίστηκε αμέσως μετά το συμβάν μέχρι το βυθό της θάλασσας, σε βάθος 2.500 μέτρων μαζί με 12.500 τόνους φορτίου επί του σκάφους. Η ανάποδη πλώρη συνέχισε να παρασύρεται και κατέληξε πάνω σε βράχους κοντά στην ακτή της Αντού, στη πόλη Μικούνι. Το περιστατικό είχε ως αποτέλεσμα δημιουργία πετρελαιοκηλίδας 6.200 τόνων, με τους περισσότερους να καταλήγουν στις ακτές, όπου και κατέστρεψαν το περιβάλλον αλλά και τις ανθρώπινες δραστηριότητες στη περιοχή.

TANIO



Στις 7 Μάρτη 1980, το δεξαμενόπλοιο TANIO, μεταφέροντας 190.580 βαρέλια μαζούτ, κόπηκε στα δύο ανοικτά των ακτών της Βρετάνης, στη Γαλλία, κατά τη διάρκεια μιας βίαιης καταιγίδας. Ο αξιωματικός και 7 μέλη του πληρώματος έχασαν τη ζωή τους. Περίπου 99.000 βαρέλια (13.500 τόνοι) πετρελαίου χύθηκαν στη θάλασσα έπειτα από το σπάσιμο σε 2 κομμάτια του σκάφους. Το τμήμα της πλώρης, που περιείχε 36.650 βαρέλια πετρελαίου, βυθίστηκε στα 300 πόδια βάθος (100 μέτρα). Σημαντικές ποσότητες ελαίων εξακολούθησαν να διαρρέουν από το βυθισμένο προωαίο κομμάτι, οι οποίες όμως τελικώς σφραγίστηκαν 2 μήνες αργότερα. Η πρύμνη παρέμενε βυθισμένη μέχρι που ρυμουλκήθηκε στο λιμάνι της Χάβρης, όπου εκφορτώθηκαν τα υπόλοιπα 54.975 βαρέλια. Οι ισχυροί άνεμοι βορειοδυτικά κατά το χρόνο του συμβάντος κίνησαν το πετρέλαιο προς τις ακτές της Βρετάνης. Λόγω του υψηλού ιξώδους του ελαίου και των κακών καιρικών συνθηκών, η συλλογή του ελαίου από τη θάλασσα ήταν αδύνατη. Συνεπώς, οι ακτές της Βρετάνης (που είχαν ήδη σημαντικές επιπτώσεις από τις προηγούμενες πετρελαιοκηλίδες, του TORREY CANNYON το 1967 και του AMOCO CADIZ το 1978), ήταν ξανά σοβαρά ρυπασμένη. Περίπου 125 μίλια ακτογραμμής υπέστησαν ρύπανση, με τη γαλλική κυβέρνηση να δημιουργεί σχέδιο έκτακτης ανάγκης χρησιμοποιώντας τον εθνικό στρατό για τις

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

εργασίες καθαρισμού, καθώς και προσωπικό από την οργάνωση πολιτικής άμυνας, από τη πυροσβεστική, από την τοπική αυτοδιοίκηση ακόμα και από τοπικούς αγρότες. Η Διεθνής Ομοσπονδία Ιδιοκτητών Δεξαμενόπλοιων που συνέβαλαν σε Ρύπανση (ITOPF) παρείχε τεχνικές συμβουλές και παρακολούθηση των δραστηριοτήτων καθαρισμού για λογαριασμό του Διεθνούς Ταμείου Αποζημίωσης από Πετρελαική Ρύπανση (IOPC). Η εκκαθάριση ολοκληρώθηκε επιτυχώς, με τις παραλίες να έρχονται εκ νέου σε χρήση τον Ιούλιο. Οι αποζημιώσεις και τα έξοδα συνολικά έφθασαν τα 214.000.000\$ περίπου.

ΑEGEAN SEA



Στις 3 Δεκεμβρίου 1992, το ελληνικό φορτηγό μεταφοράς μεταλλεύματος AEGEAN SEA, ενώ μια βαριά καταιγίδα λάμβανε χώρα στις 5 το πρωί, έμπαινε στο λιμάνι της Λα Κορούνια, όπου και κατευθύνθηκε εκτός πορείας και προσάραξε. Έσπασε στα δύο και τυλίχθηκε στις φλόγες. Το προωαίο μέρος βυθίστηκε περίπου σε 50 μέτρα βάθος ενώ το πρυμναίο παρέμεινε ορατό. Εκτός από μερικές εκατοντάδες κυβικά μέτρα που αντλήθηκαν επιτυχώς από την πρύμνη, το σύνολο του φορτίου χύθηκε. Για τη καταπολέμηση της ρύπανσης χρησιμοποιήθηκαν πλωτά φράγματα που σύλλεξαν 5000 κυβικά μίγματος ελαίου -

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

νερού, ενώ αλλα 1200 κυβικά άμμου συλλέχθηκαν από τις ακτές μέσω ειδικού μηχανισμού. Περισσότερα από 300 χιλιόμετρα ακτογραμμής επηρεάστηκαν, με την αλιεία να πλήττεται σημαντικά λόγω ύπαρξης ιχθυοτροφίων αλλά και πλούσιας βιοποικιλότητας. Οι περιφερειακές αρχές απαγόρευσαν την αλιεία και την πώληση θαλασσινών από την περιοχή μέχρι και τον Σεπτέμβριο του 1993. Υπήρξαν σαφώς και αρνητικές επιπτώσεις στον τουρισμό. Πάνω από 900 αιτήσεις αποζημίωσης έλαβε το ταμείο IOPC συνολικού ύψους 300.000.000 ευρώ. Ο καπετάνιος και ο αρχηγός του λιμενικού, αλλά και ο πλοιοκτήτης και η ισπανική κυβέρνηση κρίθηκαν υπεύθυνοι για το ατύχημα. Το 2000 κατέληξαν σε συμφωνία και το συνολικό κόστος έφθασε τελικά τα 204.000.000 \$.

ERIKA



Το δεξαμενόπλοιο με σημαία Μάλτας, ERIKA, μεταφέροντας 31.000 τόνους βαρέους καυσίμου έσπασε στα δύο κατά τη διάρκεια ισχυρής καταιγίδας στο Βισκαϊκό κόλπο, ανάμεσα στις βόρειες ακτές της Ισπανίας και τις Δυτικές της Γαλλίας, στις 11 Δεκεμβρίου 1999 σε απόσταση 60 μιλίων από τις ακτές της Βρετάνης. Περίπου 19.800 τόνοι διέρρευσαν. Η πλώρη βυθίστηκε στις 12 Δεκεμβρίου και η πρυμνη την επόμενη μέρα. Η γαλλική ναυτική διοίκηση στη

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Βρέστη ανέλαβε την ευθύνη των ενεργειών στη θάλασσα. Ειδικά σκάφη ξεκίνησαν τις επιχειρήσεις στις 14 Δεκεμβρίου αλλά με μικρό αποτέλεσμα λόγω των δυσμενών καιρικών συνθηκών. Σε 15 ημέρες επιχειρήσεων συλλεχθηκαν 1.100 τόνοι μίγματος ελαίου - νερού. Υπολογίστηκε ότι μόνο το 3% της συνολικής ρύπανσης συλλέχθηκε κατά τη διάρκεια των επιχειρήσεων στη θάλασσα. Έχοντας σύμμαχο τον ισχυρό άνεμο και τα ρεύματα, η ρύπανση στις ακτές δε συνέβη τόσο γρήγορα όσο αναμενόταν. Λόγω της μεγάλης παραμονής της στη θάλασσα, η ρύπανση μετατράπηκε σε μίγμα ελαίου - νερού, αυξάνοντας τον όγκο της και εκτάθηκε σε μία ακτίνα 400 χιλιομέτρων. Κατά τη διάρκεια των επιχειρήσεων καθαρισμού συλλέχθηκαν περίπου 250.000 τόνοι πετρελαϊκών αποβλήτων στις ακτές. Οι προσπάθειες απάντλησης του παραμένουτος πετρελαίου στο βυθισμένο ERIKA άρχισαν όταν ο καιρός βελτιώθηκε τον Ιούνιο του 2000 και στέφθηκε με επιτυχία 3 μήνες αργότερα, αφού απαντλήθηκαν 10.000 τόνοι. Οι κύριες επιπτώσεις για το περιβάλλον ήταν τα θαλάσσια πουλιά. Περίπου 65.000 πουλιά καλυμμένα με πετρέλαιο συλλέχθηκαν στις ακτές, από τα οποία περίπου 50.000 πέθαναν. Επίσης επηρεάστηκαν σημαντικά η αλιεία, ο τουρισμός και οι θαλάσσιοι πληθυσμοί σε μεγάλη ακτίνα. Το συνολικό κόστος έφθασε τα 157.000.000\$ περίπου.

HAVEN



Στις 11 Απριλίου 1991, το HAVEN κατά τη διάρκεια εκφόρτωσης 230.000 τόνων αργού πετρελαίου στη πλωτή πλατφόρμα MULTEDO, επτά μίλια μακριά από την ακτή της Γένοβας στην Ιταλία και ενώ είχε ήδη μεταφέρει 80.000 τόνους, αποσυνδέθηκε από τη πλατφόρμα για μια εσωτερική λειτουργία ρουτίνας, ώστε να επιτρέπεται η άντληση του ελαίου από δύο πλευρικές, σε μία κεντρική δεξαμενή. Σε μαρτυρία αργότερα, ο πρώτος αξιωματικός δήλωσε ότι πιθανώς να είχε σπάσει το κάλυμμα της αντλίας, πράγμα που οδήγησε σε μια φοβερή έκρηξη. Πέντε μέλη του πληρώματος έχασαν τη ζωή τους αμέσως, καθώς ξέσπασε πυρκαγιά και το πετρέλαιο άρχισε να διαρρέει από τη γάστρα του πλοίου λόγω υπερθέρμανσης των πλακών. Καθώς η φωτιά βύθισε το πλοίο, οι φλόγες έφθασαν σε ύψος 100 μέτρων μετά από μια σειρά από νέες εκρήξεις, με 50.000 τόνους πετρελαίου να χύνονται στη θάλασσα. Οι ιταλικές αρχές ενήργησαν γρήγορα, με εκατοντάδες ανθρώπους να καταπολεμούν τη πυρκαγιά. Τη δεύτερη μέρα, επρόκειτο να ρυμουλκηθεί κοντά στην ακτή, σε μια προσπάθεια να μειώσει την παράκτια περιοχή που έχει πληγεί, καθώς στο προωαίο τμήμα γλύστρισε κάτω από την επιφάνεια ένα καλώδιο χάλυβα πέρασε γύρω από το πηδάλιο των ρυμουλκών, με τη καρίνα του να σπάει και εν τέλει να βυθίζεται στα 450 μέτρα βάθους νερού. Στις 14 Απριλίου,

Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

το κύριο σώμα του σκάφους μήκους 250 μέτρων βυθίστηκε και αυτό 1 μίλι και μισό από την ακτή μεταξύ Αρεντζάνο και Βαράτσε.

BRAER



Στις 5 το πρωί, την Τρίτη 5 Ιανουαρίου 1993, η ακτοφυλακή Lerwick ενημερώθηκε ότι το δεξαμενόπλοιο BRAER, καθ'οδόν από το Μπέργκεν της Νορβηγίας προς το Κεμπέκ στον Καναδά, φορτωμένο με 85.000 τόνους αργού πετρελαίου είχε χάσει την ισχύ του κινητήρα, αλλά δεν ήταν σε άμεσο κίνδυνο. Αρχική θέση 10 μίλια νότια του Σάμπεργκ με ανέμους νοτιοδυτικούς, ισχύος 10 - 11 μποφόρ. 14 από τα 34 μέλη πληρώματος διασώθηκαν με ελικόπτερο 3 ώρες αργότερα. Υπό το φόβο ότι το πλοίο θα προσαράξει στο νησί Horse αποφασίστηκε από την ακτοφυλακή να εκκενωθεί το πλοίο. Αργότερα έγιναν προσπάθειες να τεθεί το πλοίο υπό έλεγχο, ανεπιτυχώς με αποτέλεσμα να προσαράξει στο Garths Ness και το πετρέλαιο να ρέει στη θάλασσα. Συνολικά 84.000 τόνοι χύθηκαν με το συνολικό κόστος να φθάνει τα 115.000.000\$.

SEA EMPRESS



Το βράδυ της 15^{ης} Φεβρουαρίου 1996, το SEA EMPRESS μεταφέροντας 130.000 τόνους ακατέργαστου πετρελαίου από τη Βόρεια θάλασσα, προσάραξε στην είσοδο του Μίλφορντ Χάβεν, στη νοτιοδυτική Ουαλία. Αν και το δεξαμενόπλοιο επανήλθε σε πλευστότητα μέσα σε μερικές ώρες, υπέστη σοβαρή ζημιά στις δεξιές και κεντρικές δεξαμενές του, με αποτέλεσμα ογκώδη διαρροή πετρελαίου. Οι προσπάθειες να τεθεί το σκάφος υπό έλεγχο εμποδίστηκαν από τις δυσμενείς ακιρικές συνθήκες με αποτέλεσμα το σκάφος να προσαράξει και να επανέλθει αρκετές φορές μέσα σε διάστημα 5 ημερών. Συνολικά περίπου 72.000 τόνοι ακατέργαστου πετρελαίου και 370 τόνοι βαριών καυσίμων διέρρευσαν στη θάλασσα. Οι προσπάθειες καθαρισμού ήταν εκτεταμένες και αποτελεσματικές. Εν πλω αυτές περιλάμβαναν τον ψεκάσμό διαλυτικού και τη χρήση προστατευτικών φραγμάτων. Αυτό, σε συνδυασμό με το πολύ υψηλό ποσοστό εξάτμισης και φυσικής διασποράς, μείωσε πολύ την ποσότητα πετρελαίου που έφθασε στα παράκτια ύδατα. Περίπου 200 χιλιόμετρα ακτής – μεγάλο μέρος αυτής σε εθνικό πάρκο – μολύνθηκαν και έπρεπε να καταβληθεί σημαντική προσπάθεια για τον καθαρισμό τους. Επιβλήθηκε προσωρινή απαγόρευση στην εμπορική και ψυχαγωγική αλιεία και υπήρξε ανησυχία ότι θα επηρεαστεί άσχημα ο, τόσο σημαντικός για την τοπική κοινωνία, τουρισμός. Η βρετανική κυβέρνηση ανέθεσε

Ανάλυση ανωφελείας/δυσγρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

σε μια ανεξάρτητη επιτροπή να αξιολογήσει τη ζημιά που προκλήθηκε από το ατύχημα. Η επιτροπή διαπίστωσε ότι αν και μερικοί πληθυσμοί άγριων ειδών είχαν καταστραφεί σχεδόν ολοσχερώς, η μεγάλη πλειοψηφία των πληθυσμών της περιοχής είχε επανέλθει μέσα σε διάστημα δύο ετών. Παρόλο το μεγάλο μέγεθος της διαρροής, σε μια ιδιαίτερα ευαίσθητη περιοχή, τα αποτελέσματα ήταν πολύ λιγότερο καταστροφικά από ότι θα περίμενε κανείς στην αρχή. Αυτό ήταν συνδυασμός πολλών παραγόντων, όπως η χρονική στιγμή του έτους, το είδος του πετρελαίου που διερρευσε, καθώς και των καιρικών συνθηκών που επικρατούσαν τη στιγμή του ατυχήματος. Το συνολικό κόστος εξόδων και αποζημιώσεων έφθασε περίπου τα 79.000.000\$.

SEA DIAMOND



Το Sea Diamond, χωρητικότητας 22.412 τόνων, της εταιρείας «Louis Hellenic Cruises» αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ατυχήματα των τελευταίων 30 χρόνων στις ελληνικές θάλασσες. Βυθίστηκε έπειτα από πρόσκρουση του στις 5 Απριλίου του 2007. Το πλοίο μετέφερε 1163 επιβάτες και 391 μέλη πληρώματος, και κατέληξε σε ξέρα στον όρμο των Φυρών της Σαντορίνης. Από το ναυάγιο του πλοίου σώθηκαν όλοι οι επιβάτες και το πλήρωμα, εκτός από δύο Γάλλους, που ως

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

σήμερα αγνοούνται. Από το ναυάγιο και έπειτα στην περιοχή της βύθισης η επιφάνεια της θάλασσας και οι ακτές τελούν υπό συνεχή καθαρισμό και χρησιμοποιούνται πλωτά φράγματα για τη μη διασπορά της επιφανειακής ρύπανσης καθώς συνεχίζουν και αναβλύζουν έλαια, χημικά και πετρελαιοειδή. Το κουφάρι του πλοίου "κρέμεται" σήμερα γαντζωμένο από την προπέλα σε βράχο, από όπου εκτιμάται πως αναπόφευκτα θα κυλήσει πολύ βαθύτερα, συντελώντας πιθανώς σε αύξηση της ρύπανσης αν τραυματιστεί το κουφάρι του. Εκτιμάται ότι διέρρευσαν 500 τόνοι ελαίου με το συνολικό κόστος να κυμαίνεται στα 5.500.000\$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

3.1 Επιλογή βάσης δεδομένων

Προκειμένου να δημιουργηθεί ένα αποτελεσματικό μοντέλο, θα πρέπει να γίνει η εφαρμογή του σε περιπτώσεις κηλίδων που έχουν συμβεί και είναι γνωστά τα αποτελέσματα τους και κατόπιν να διαπιστωθεί αν αυτά επαληθεύονται, με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια, και από το ίδιο το μοντέλο. Γίνεται επομένως αντιληπτό ότι, η προσπάθεια κατασκευής ενός μοντέλου θα πρέπει να στηριχθεί σε ήδη καταγεγραμμένα συμβάντα κηλίδων. Είναι λοιπόν απαραίτητη η ύπαρξη μιας εκτεταμένης βάσης δεδομένων, από την οποία θα μπορεί να γίνει άντληση πληροφοριών και στοιχείων για ποικίλες περιπτώσεις πετρελαιοκηλίδων, που έχουν υπάρξει κατά καιρούς, με ξεχωριστά χαρακτηριστικά και αποτελέσματα η καθεμία, ώστε χρησιμοποιώντας αυτά τα ιστορικά στοιχεία να κατασκευαστεί το μοντέλο.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το συνολικό κόστος καθαρισμού είναι αρκετοί, όπως είδαμε παραπάνω, δεν είναι τελείως ανεξάρτητοι μεταξύ τους, σχετίζονται και αλληλεξαρτώνται, ενώ ο κάθε παράγοντας μπορεί να έχει διαφορετική βαρύτητα και συνεισφορά στον καθορισμό του κόστους. Όλα αυτά μπορεί να δυσκολεύουν το έργο κατασκευής του μοντέλου, ωστόσο πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Όπως ήδη αναφέρθηκε και παραπάνω η βάση δεδομένων, από την οποία θα συγκεντρωθούν τα απαραίτητα στοιχεία, θα πρέπει να έχει λεπτομερή ιστορικά στοιχεία για πετρελαιοκηλίδες που έχουν παρουσιαστεί στο θαλάσσιο χώρο παγκοσμίως. Τα χαρακτηριστικά αυτών των κηλίδων, όπως γεωγραφική τοποθεσία, μέγεθος και συνολικά κόστη που προέκυψαν από τις αποζημιώσεις και

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

τον καθαρισμό, θα πρέπει να περιέχονται μέσα στη βάση δεδομένων, που επιθυμούμε να έχουμε.

Ο αρμόδιος φορέας, από τον οποίο έγινε η αναζήτηση των απαραίτητων στοιχείων για την καταγραφή της βάσης δεδομένων, είναι:

- Το Διεθνές Ταμείο Αποζημίωσης για Πετρελαϊκή Ρύπανση (IOPCF), το οποίο εξασφαλίζει αποζημιώσεις για ζημιές προκληθείσες από πετρελαϊκή ρύπανση κηλίδων από δεξαμενόπλοια στα κράτη τα οποία είναι μέλη αυτού του ταμείου. Από την ίδρυσή τους, το ταμείο του 1992 και το προηγούμενο του, το 1971, έχουν εμπλακεί σε 145 περιστατικά διαφόρων μεγεθών σε όλο τον κόσμο. Στη μεγάλη πλειονότητα των περιπτώσεων, όλες οι απαιτήσεις έχουν ικανοποιηθεί από το δικαστήριο. Στοιχεία βρέθηκαν για 102 από αυτά τα ατυχήματα, αφού υπήρχαν ορισμένα στα οποία εκκρεμούν εκδικάσεις αξιώσεων για αποζημίωση.

3.2 Δομή της βάσης δεδομένων

Η βάση δεδομένων, που αναλύθηκε για τους σκοπούς της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, περιλαμβάνει ατυχήματα από το 1979 έως το 2007 και κυμαίνεται σε ποσότητες πετρελαιοκηλίδων από 0,1 έως 144.000 τόνους. Το κόστος τους κυμαίνεται από 15.440 \$ έτους βάσης 2009 έως 416.000.000 περίπου. Οι περιοχές των ατυχημάτων αντιστοιχούν σε θαλάσσια ύδατα που ανήκουν τα κράτη μέλη του ταμείου IOPC, συνεπώς υπάρχουν περιστατικά σε Ατλαντικό, Ινδικό και Ειρηνικό ωκεανό, καθώς και σε Μεσόγειο, Βαλτική και Βόρεια θάλασσα.

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Τα στοιχεία που περιλαμβάνονται στη βάση δεδομένων είναι τα ακόλουθα:

1. Το ταμείο που ανήκει η χώρα που έγινε το ατύχημα. Οι περιπτώσεις είναι οι εξής:
 - ταμείο IOPC 1971
 - ταμείο IOPC 1992
2. Το κωδικό νούμερο της υπόθεσης (μόνο σε αυτά του IOPC)
3. Όνομα πλοίου
4. Ημερομηνία πρόκλησης του συμβάντος ρύπανσης.
 - Πρόκειται για την ακριβή ημερομηνία κατά την οποία σημειώθηκε το περιστατικό ρύπανσης (κυμαίνονται από το 1979 έως το 2007)
5. Τύπος πλοίου.
 - Στη στήλη του είδους του πλοίου δεν αναφέρεται κάτι στο ταμείο του IOPC παρότι υπάρχει η κατηγορία καθώς, όπως αναφέρθηκε, το ταμείο μελετά ατυχήματα δεξαμενόπλοιων. Στα ατυχήματα της Νορβηγίας και του ελλαδικού χώρου όμως έχουμε και άλλα είδη πλοίων.
6. Περιοχή που προκλήθηκε το ατύχημα
 - Εδώ αξίζει να αναφερθεί ότι κατά την παραγωγή του μοντέλου στη συνέχεια τα ατυχήματα θα χωριστούν σε κατηγορίες ανάλογα με τη θάλασσα ή τον ωκεανό που προκλήθηκαν τα ατυχήματα. Επίσης κατηγοριοποίηση θα ακολουθήσει και στην αρχική μελέτη των δεδομένων σε σχέση με την απόσταση της περιοχής του ατυχήματος από την ακτή.
7. Σημαία πλοίου
8. Χωρητικότητα πλοίου

9. Είδος ατυχήματος. Πιο συγκεκριμένα στη βάση δεδομένων περιλαμβάνονται τα εξής:

- προσάραξη
- σύγκουση
- βύθιση
- Σπάσιμο
- Φωτιά
- Κακή διαχείριση του φορτίου
- Καταστροφές από καταιγίδα στις δεξαμενές
- Σύγκρουση με το αγκυροβόλιο
- Υπερχείληση από το σωλήνα τροφοδοσίας
- Έκρηξη
- Χτύπημα αποβάθρας
- Διάβρωση
- Εκφόρτωση πετρελαίου

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι στη δημιουργία του μοντέλου αργότερα θα συμπεριληφθούν όλα σε 4 μεγάλες κατηγορίες.

10. Μέγεθος κηλίδας

• Οι κηλίδες κυμαίνονται από 0,1 έως 144.000 τόνους. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο μοντέλο που θα δημιουργηθεί αργότερα καταχωρήθηκαν περιστατικά με μέγεθος κηλίδας μεγαλύτερο του ενός τόνου. Παρ' όλα αυτά, στην αρχική μελέτη συμπεριλαμβάνονται όλα τα περιστατικά.

11. Νομισμα της χώρας που συνέβη το ατύχημα

• Στη συνέχεια παρά τη διαφορά του νομίσματος αποζημίωσης του κάθε ατυχήματος θα μετατραπούν όλα σε δολάρια έτους βάσης 2009.

12. Κόστος καθαρισμού και μέτρων αντιμετώπισης

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

- Πρόκειται για το ολικό κόστος που στοίχισε η όλη διαδικασία αντιμετώπισης της ρύπανσης στη θάλασσα αλλά και στις ακτές.
- 13. Οι οικονομικές απώλειες όσων σχετίζονται με την αλιευτική δραστηριότητα
- 14. Οι οικονομικές απώλειες που αφορούν τον τουρισμό
- 15. Οι οικονομικές απώλειες επαναφοράς του περιβάλλοντος
- 16. Άλλες οικονομικές ζημιές
- 17. Συνολικό κόστος
 - Αποτελεί το άθροισμα όλων των αποζημιώσεων και οικονομικών απωλειών, δηλαδή το άθροισμα από το 12 έως το 16)
- 18. Συναλλαγματική ισοτιμία στο έτος του ατυχήματος
- 19. Συνολικό κόστος σε δολάρια του έτους του ατυχήματος
- 20. Συντελεστής πληθωρισμού μεταξύ του έτους του ατυχήματος και του έτους βάσης μας που είναι το 2009
- 21. Συνολικό κόστος σε δολάρια του 2009
- 22. Σημειώσεις για αποζημιώσεις που εκκρεμούν (αν υπάρχουν)

Θα πρέπει να σημειωθούν κάποιες λεπτομέρειες για τις πληροφορίες που έχουμε:

- Δεν έχουμε επαρκείς πληροφορίες για τις αποζημιώσεις συνεπώς δεν μπόρεσαν να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια ως μεταβλητές στο μοντέλο οι οικονομικές απώλειες που αφορούν τον τουρισμό, την επαναφορά του περιβάλλοντος και των υπολοίπων οικονομικών ζημιών.

- Δεν υπάρχει στήλη για το είδος πετρελαίου, όμως από το άρθρο της Catherine Grey [13] για τα ατυχήματα του IOPC υπάρχουν πληροφορίες για μερικά ατυχήματα. Οι περισσότερες κηλίδες έχουν γίνει με βαρύ καύσιμο (Heavy

Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

fuel oil), ενώ πολύ λίγες με ακατέργαστο πετρέλαιο (Crude oil). Από αυτό προκύπτει μια γενική αίσθηση ότι στο μοντέλο μας μελετάμε κατά κύριο λόγο κηλίδες από βαρύ πετρέλαιο.

3.3 Επεξεργασία της βάσης δεδομένων

Για την επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ένα ηλεκτρονικό πρόγραμμα υπολογιστικών φύλλων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση, την οργάνωση και το χειρισμό των δεδομένων. Αυτό είναι το γνωστό σε όλους τους χρήστες ηλεκτρονικού υπολογιστή Microsoft Excel. Η επεξεργασία που ακολουθεί γίνεται, ουσιαστικά, για την ανάλυση των στοιχείων της βάσης δεδομένων και συγχρόνως θα αποτελέσει στατιστική απεικόνιση της κατάστασης που επικρατεί στις θάλασσες.

Το πρώτο βήμα κατά την επεξεργασία των δεδομένων ήταν η έρευνα περαιτέρω στοιχείων για το κάθε ατύχημα. Ακολουθεί ένας ενδεικτικός χάρτης από την ιστοσελίδα του IOPCF που περιλαμβάνει τα σημεία ανα τον κόσμο που συνέβησαν τα ατυχήματα της βάσης δεδομένων τους:

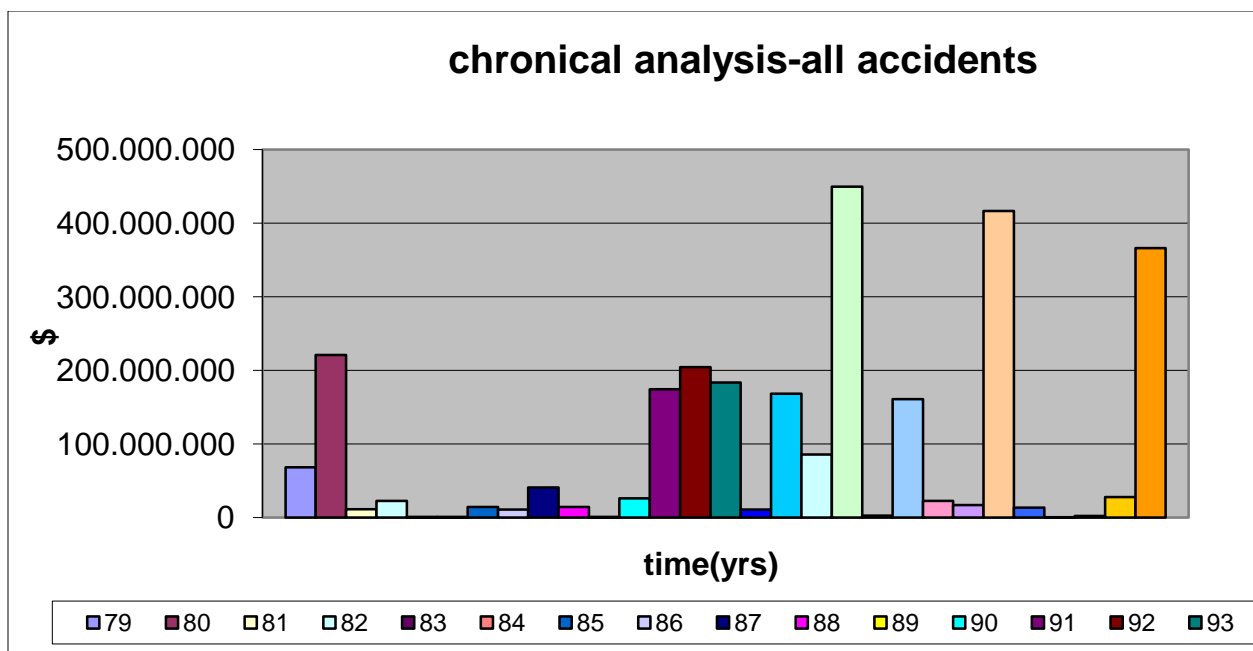
Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία



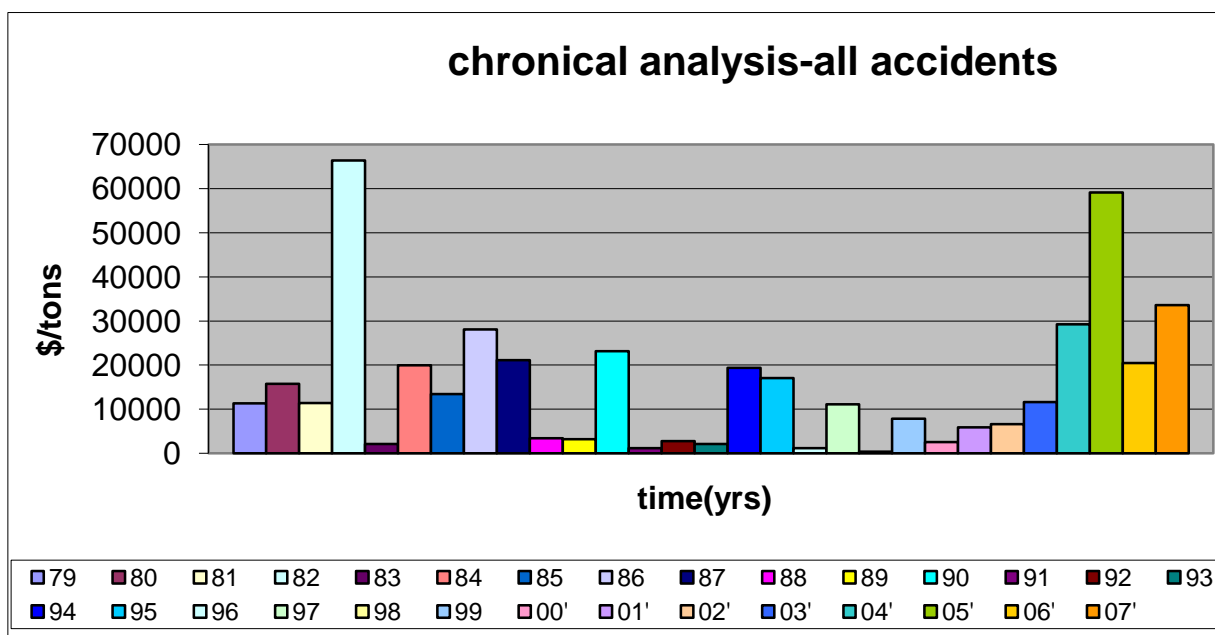
Σχήμα 1: Χάρτης ατυχημάτων που έχει εμπλακεί το ταμείο IOPC από το 1979 έως το 2007

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η χρονική ανάλυση των ατυχημάτων του IOPC ανά έτος ως προς το κόστος και το κόστος ανά τόνο:

Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία



Σχήμα 2: Χρονική ανάλυση ως προς το κόστος



Σχήμα 3: Χρονική ανάλυση ως προς το κόστος ανά τόνο

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Είναι φανερό και στα δύο σχήματα ότι με την πάροδο των χρόνων οι αποζημιώσεις και οι αποζημιώσεις ανά τόνο έχουν ανοδικές τάσεις, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια.

Πέραν αυτής της απλής παρουσίασης του κόστους ανά έτος, αρχικός στόχος ήταν η κάλληλη κατηγοριοποίηση των δεδομένων για τη σωστή ανάλυση των πληροφοριών. Βασικό στοιχείο της αποτέλεσε η ακριβής απόσταση του ατυχήματος από την κοντινότερη ακτή και αν αυτό έλαβε χώρα εντός ή εκτός λιμένα, καθώς τα στοιχεία αυτά δεν αποτυπώνονταν στα αρχεία των ατυχημάτων. Συνεπώς, έγινε κατηγοριοποίηση 102 ατυχημάτων σε 6 διαφορετικά αρχεία τα οποία επιλέχθηκαν να μελετηθούν και να συγκριθούν:

- Οι δύο συχνότερες κατηγορίες ατυχημάτων. Δηλαδή προσάραξης (grounding) και σύγκρουσης (collision)
- Οι δύο περιπτώσεις απόστασης. Παράκτιες (coastal) και μη παράκτιες (non coastal). Κριτήριο για τον διαχωρισμό τους στις δύο κατηγορίες το όριο των 10 ναυτικών μιλίων.
- Οι περιπτώσεις ατυχημάτων εντός λιμένα (harbour) και εκτός λιμένα (non harbour)

Ακολουθεί αναλυτική παρουσίαση της στατιστικής ανάλυσης του κάθε αρχείου και στη συνέχεια η σύγκριση τους. Τα βήματα που ακολουθήθηκαν και τα αποτελέσματα και των 6 αρχείων είναι:

Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

A) Εύρεση της μέσης τιμής

Η μέση τιμή των παρατηρήσεων (δειγματική μέση τιμή) είναι το πηλίκο του αθροίσματος των παρατηρήσεων δια του πλήθους των παρατηρήσεων

$$AM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}.$$

Εξεταζόμενο αρχείο	Αριθμός ατυχημάτων αρχείου	Μέση τιμή(\$)	Μέση τιμή (\$/τόνο)
Σύγκρουση (collision)	25	16.858.783	25.622
Προσάραξη (grounding)	32	28.618.729	29.574
Εντός λιμένα (harbor)	31	1.866.634	71.821
Εκτός λιμένα (non harbor)	71	37.066.631	23.662
Παράκτια (coastal)	93	18.885.475	269.594
Μη παράκτια(non coastal)	12	52.553.932	16.100

Πίνακας 1: Τιμές μέσου κόστους και μέσου κόστους ανά τόνο ανά κατηγορία

Από τα αποτελέσματα παρατηρούμε ότι:

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

- Τα περιστατικά προσάραξης έχουν μεγαλύτερες μέσες τιμές από τα περιστατικά σύγκρουσης. Αυτό συμβαίνει διότι οι προσαράξεις, συμβαίνουν πολύ κοντά σε ακτές με αποτέλεσμα το κόστος καθαρισμού να είναι πιο ακριβό αφού περιλαμβάνει σε όλα τα ατυχήματα καθαρισμό ακτών, αποζημιώσεις που αφορούν το περιβάλλον, τον τουρισμό, την αλιευτική δραστηριότητα κ.α.. Έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο 1 ότι όταν οι ακτές μολύνονται επιβαρύνεται σημαντικά το συνολικό κόστος.

- Τα περιστατικά εντός λιμένα έχουν σαφώς μικρότερη μέση τιμή σε δολάρια, αφού λόγω περιορισμένου χώρου το πετρέλαιο δε μπορεί να εξαπλωθεί και αντιμετωπίζεται ευκολότερα. Εκείνο όμως που είναι ενδιαφέρον αποτέλεσμα είναι η αντίθετη πορεία των δύο στις μέσες τιμές των δολαρίων ανά τόνο, δηλαδή τα περιστατικά εντός λιμένα να έχουν μεγαλύτερες τιμές. Αυτό συμβαίνει διότι εντός των λιμανιών συμβαίνουν διαρκώς πολύ μικρές διαρροές. Από το κεφάλαιο 1 είναι γνωστό ότι πολλές φορές επειδή χρησιμοποιούνται τα ίδια μέσα αντιμετώπισης για μεγάλες ή μικρές κηλίδες - άρα και παρόμοιο κόστος λειτουργίας τους - το κόστος ανά τόνο εντός λιμένων προκύπτει μεγαλύτερο.

- Τα περιστατικά σε ανοιχτές θάλασσες (δηλαδή απόσταση μεγαλύτερη των 10 ν.μ. από την κοντινότερη ακτή) έχουν σαφώς μεγαλύτερη μέση τιμή σε δολάρια. Αυτό συμβαίνει διότι στις περιπτώσεις κάποιου τέτοιου ατυχήματος εύκολα προκύπτει βύθιση ή μεγάλη διαρροή ή απλώς μεγάλη εξάπλωση της διαρροής καθώς ο αρμόδιος φορέας είναι πολύ πιο δύσκολο να δράσει λόγω καιρικών συνθηκών, ρευμάτων αλλά και αργότερου χρόνου αντίδρασης. Επίσης ειδικά σε περίπτωση βύθισης έχουμε υπερμεγέθης κηλίδες και συνεπώς μεγαλύτερο κόστος. Μεγάλη εντύπωση δημιουργεί η διαφορά της μέσης τους τιμής κατά τη μελέτη του κόστους ανά τόνο. Βλέπουμε ότι συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο με τις μέσες τιμές σε δολάρια για δύο λόγους. Πρώτον, λόγω

Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

παραπλήσιου συμπεράσματος με την παραπάνω σημείωση, αφού στα παράκτια ατυχήματα περιλαμβάνονται και αυτά εντός λιμένων και δεύτερον γιατί υπάρχει ένα ατύχημα του πλοίου Plate Princess το οποίο έχει υπερβολικά υψηλό κόστος παρά το ότι είχε διαρροή μόνο 3.2 τόνους, λόγω υπέρογκης αποζημίωσης στους ενασχολούμενους με την αλιευτική δραστηριότητα. Από τη μεγάλη διαφορά αυτή προκύπτει μεγάλη ανάγκη να γίνει ανάλυση απομακρυσμένων παρατηρήσεων (outlier analysis), η οποία θα πραγματοποιηθεί στη συνέχεια.

B) Εύρεση της διαμέσου

Διάμεσος είναι τιμή η οποία διαιρεί ένα σύνολο των δειγμάτων, όταν αυτά βρίσκονται σε αύξουσα ή φθίνουσα διάταξη, σε δύο μέρη τα οποία περιέχουν ίδιο αριθμό δειγμάτων (αν έχουμε μονό αριθμό δειγμάτων η διάμεσος είναι μία από αυτές τις τιμές ενώ σε περίπτωση ζυγού αριθμού δειγμάτων η τιμή είναι ο μέσος όρος δύο τιμών).

Εξεταζόμενο αρχείο	Αριθμός ατυχημάτων αρχείου	Διάμεσος (\$)	Διάμεσος (\$/τόνο)
Σύγκρουση (collision)	25	2.709.859	14.427
Προσάραξη (grounding)	32	8.581.428	12.259
Εντός λιμένα (harbor)	31	350.629	38.046
Εκτός λιμένα (non harbor)	71	5.438.723	11.713
Παράκτια	93	2.531.649	14.932

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

(coastal)			
Μη παράκτια (non coastal)	12	3.880.068	6.587

Πίνακας 2: Τιμές κόστους και κόστους ανά τόνο ενδιάμεσης παρατήρησης ανά κατηγορία

Από τα αποτελέσματα παρατηρούμε ότι:

- Όλες οι διάμεσοι σε δολάρια είναι σαφέστατα μικρότερες από τις αντίστοιχες μέσες τους τιμές. Αυτό συμβαίνει διότι σε όλες τις περιπτώσεις τα λιγοστά μεγάλα ατυχήματα έχουν επηρεάσει πολύ τις μέσες τιμές. Και από τη διαφορά αυτή προκύπτει μεγάλη ανάγκη να γίνει ανάλυση απομακρυσμένων παρατηρήσεων.

- Η διάμεσος δολαρίων ανά τόνο στα περιστατικά συγκρούσεων είναι μεγαλύτερη από αυτή στα αντίστοιχα των προσαράξεων. Εδώ βλέπουμε το αποτέλεσμα αυτό να αντικρούεται με το αντίστοιχο των μέσων τιμών. Αυτό συμβαίνει διότι στις συγκρούσεις υπάρχει ένα ατύχημα του πλοίου Hebei Spirit το οποίο έχει πολυ ακραία τιμή σε σχέση με τα άλλα, ενώ στις προσαράξεις δεν υπάρχει ακραία τιμή ίδιου βελινεκούς. Αυτό είναι ακόμα μια απόδειξη ότι η ανάλυση απομακρυσμένων παρατηρήσεων είναι απαραίτητη.

- Βλέπουμε ξεκάθαρα στη μελέτη κόστους ανά τόνο των παράκτιων και μη παράκτιων ατυχημάτων πόσο πιο φυσιολογικό και αναμενόμενο είναι το αποτέλεσμα στις διαμέσους σε σχέση με τις μέσες τιμές. Στις διαμέσους το αποτέλεσμα δεν επηρεάζεται καθόλου από τις ακραίες τιμες, πράγμα που αποδεικνύει την επιρροή του συμβάντος του Plate Princess στο Πίνακα 1.

Γ) Τυπική Απόκλιση

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Η τυπική απόκλιση μας δίνει ένα μέτρο της μέσης απόστασης-απόκλισης των παρατηρήσεων από τη μέση τιμή τους.

$$s_N = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}.$$

Εξεταζόμενο αρχείο	Αριθμός ατυχημάτων αρχείου	Τυπική Απόκλιση (\$)	Τυπική Απόκλιση(\$/τόνο)
Σύγκρουση (collision)	25	64.165.932	29.582
Προσάραξη (grounding)	32	48.399.612	34.096
Εντός λιμένα (harbor)	31	2.021.614	101.614
Εκτός λιμένα (non harbor)	71	82.017.831	32.302
Παράκτια (coastal)	93	47.380.680	2.204.921
Μη παράκτια(non coastal)	12	122.852.658	21.723

Πίνακας 3: Τιμές τυπικής απόκλισης σε δολάρια, δολάρια ανά τόνο ανά κατηγορία

Τα συμπεράσματα ουσιαστικά είναι ίδια με τους προηγούμενους πίνακες και απλά επιβεβαιώνουν την ανάγκη της ανάλυσης απομακρυσμένων παρατηρήσεων.

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Δ) Τυπικό Σφάλμα

Τυπικό σφάλμα είναι ένας στατιστικός όρος που μετρά την ακρίβεια με την οποία ένα δείγμα αντιπροσωπεύει ένα πληθυσμό.

$$SE_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Εξεταζόμενο αρχείο	Αριθμός ατυχημάτων αρχείου	Τυπικό Σφάλμα (\$)	Τυπικό Σφάλμα(\$/τόνο)
Σύγκρουση (collision)	25	11.343.041	5.229
Προσάραξη (grounding)	32	9.679.922	6.819
Εντός λιμένα (harbor)	31	369.094	18.251
Εκτός λιμένα (non harbor)	71	9.733.726	3.834
Παράκτια (coastal)	93	4.913.148	228.640
Μη παράκτια(non coastal)	12	35.464.507	6.271

Πίνακας 4: Τιμές τυπικού σφάλματος σε δολάρια και δολάρια ανά τόνο ανά κατηγορία

Τα συμπεράσματα ουσιαστικά είναι ίδια με τους προηγούμενους πίνακες και απλά επιβεβαιώνουν την ανάγκη της ανάλυσης απομακρυσμένων παρατηρήσεων.

Ε) Στατιστικά Τεστ

Για την συγκριτική μελέτη ανά δύο χρησιμοποιήθηκαν κάποια στατιστικά τεστ από το βιβλίο του Kanji «100 Statistical Tests» [19]. Στόχος ήταν να βρούμε εάν τα κόστη διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Χρησιμοποιήθηκαν 2 τεστ:

- Τεστ 3: Εξετάζει τη σημαντικότητα της διαφορας μεταξύ των μέσων τιμών.

$$Z = \frac{[(\chi_1 - \chi_2) - (\mu_1 - \mu_2)]}{\left(\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}\right)^{0.5}}$$

x = μέση τιμή , μ = διάμεσος , σ = τυπική απόκλιση , n = μέγεθος δείγματος

Αν $Z > 1.96$ τότε οι μέσες τους τιμές διαφέρουν σημαντικά.

- Τεστ 68: Εξετάζει αν τα δύο δείγματα προέρχονται από ίδιο μεγαλύτερο σύνολο. Ουσιαστικά εξετάζει αν τα δυο αρχεία διαφέρουν σημαντικά.

Τα δεδομένα τοποθετούνται με αύξουσα σειρά και εξετάζονται οι εναλλαγές από το ένα δείγμα στο άλλο ξεκινώντας από το μικρότερο προς το μεγαλύτερο.

$$Z = \frac{(K - \mu_K + 0.5)}{\sigma_K}$$

$$K = \text{εναλλαγές} , \mu_K = 2 * n_1 * \frac{n_2}{n_1+n_2} + 1,$$

$$\sigma_K^2 = \frac{[2*n_1*n_2*(2*n_1*n_2-n_1-n_2)]}{[(n_1+n_2)^2*(n_1+n_2-1)]}$$

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Αν $Z > 1.96$ τότε τα δείγματα είναι επιλεγμένα τυχαία από το ίδιο σύνολο και δε διαφέρουν σημαντικά.

Σύγκριση Δειγμάτων	Τεστ 3 (Σύγκριση μέσων τιμών)	Τεστ 68 (Σύγκριση δειγμάτων)
Σύγκρουση - Προσάραξη	$Z < 1.96$ Δεν διαφέρουν σημαντικά	$Z < 1.96$ Διαφέρουν σημαντικά
Παράκτια – Μη παράκτια	$Z > 1.96$ Διαφέρουν σημαντικά	$Z < 1.96$ Διαφέρουν σημαντικά
Εντος λιμένα - εκτος λιμ.	$Z > 1.96$ Διαφέρουν σημαντικά	$Z < 1.96$ Διαφέρουν σημαντικά

Πίνακας 5: Αποτελέσματα στατιστικών τεστ σύγκρισης κατηγοριών ανά δύο

Με βάση τα αποτελέσματα των πινάκων 1 έως 4 το συμπέρασμα που προκύπτει και εδώ είναι αναμενόμενο αφού τα δείγματα ανά δύο μεταξύ τους έχουν περιστατικά που εμφανώς διαφέρουν στο κόστος. Το αποτέλεσμα του πρώτου τεστ για προσαράξεις και συγκρούσεις δημιουργεί μία αμφιβολία διότι δεν έβγαλε σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων τους τιμών που είναι αρκετά κοντινές. Αυτό θα φανεί και αργότερα κατά τη παρουσίαση των κατανομών τους που έχουν μικρή διαφορά κλίσης. Παρόλαυτα, το δεύτερο τεστ αποδεικνύει ότι μπορεί να μη διαφέρουν πολύ οι κατανομές, είναι όμως σημαντική η διαφορά τους και εμφανής. Στη συνέχεια, για την εύρεση μεταβλητών για το μοντέλο θα χρησιμοποιηθούν εκ νέου τα στατιστικά τέστ αυτού του βιβλίου.

ΣΤ) Ανάλυση απομακρυσμένων παρατηρήσεων

Μία απομακρυσμένη παρατήρηση ή outlier, είναι η παρατήρηση που φαίνεται να αποκλίνει σημαντικά από τα άλλα μέλη του δείγματος. Στις περισσότερες δειγματοληψίες των δεδομένων, ορισμένα σημεία δεδομένων θα είναι πιο μακριά από τη μέση τιμή του δείγματος, από ό,τι θεωρείται εύλογο. Σε μεγάλα δείγματα, ένας μικρός αριθμός των ακραίων τιμών πρέπει να αναμένεται να είναι πολύ απομακρυσμένες.

Το κριτήριο που θα χρησιμοποιήσουμε για να βρούμε τα outliers στις κατανομές των 6 κατηγοριών που μελετήθηκαν παραπάνω βασίζεται στο διατεταρτημοριακό εύρος.

(interquartilerange): $IR = Q_3 - Q_1$

Όπου Q_1 , Q_2 , Q_3 αντιστοιχούν σε τιμές που χωρίζουν ένα σύνολο παρατηρήσεων σε τέταρτα. Q_1 :25% μικρότερες, Q_2 (διάμεσος):50% και Q_3 :25% μεγαλύτερες. Ακραίες ορίζουμε τις παρατηρήσεις που βρίσκονται έξω από αυτό το εύρος:

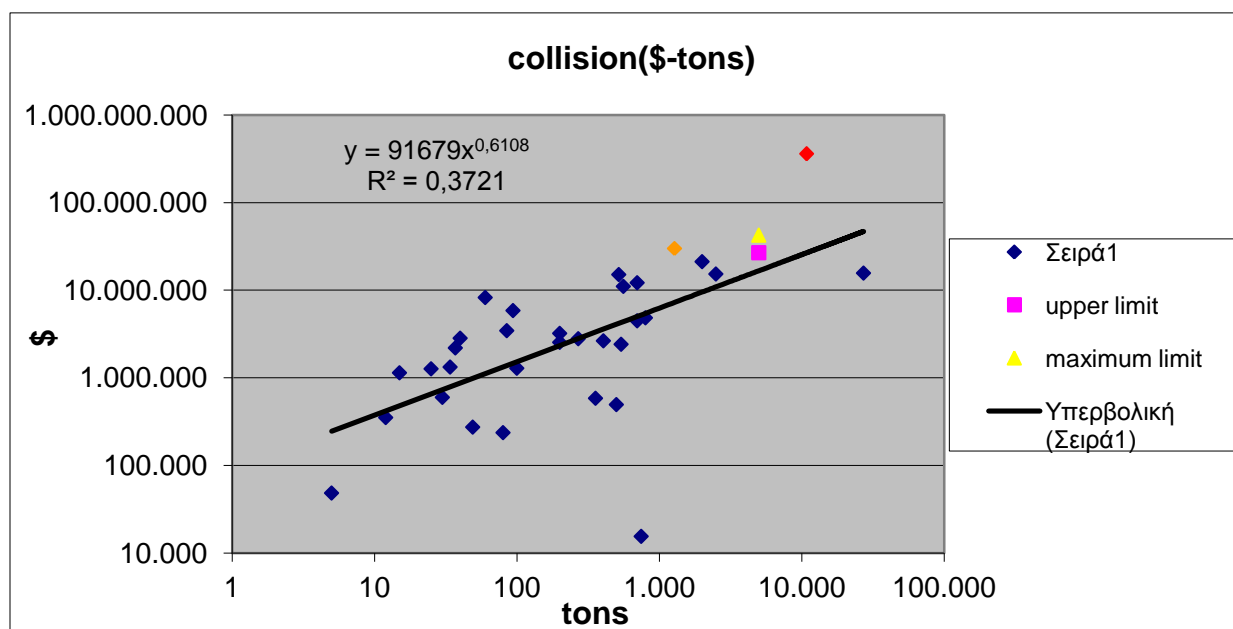
$$[Q_1 - k(Q_3 - Q_1), Q_3 + k(Q_3 - Q_1)]$$

Για $k = 1,5$ τα σημεία που προκύπτουν καθορίζουν τους εσωτερικούς φράχτες, ενώ για $k = 3$ τα σημεία που προκύπτουν ορίζουν τους εξωτερικούς φράχτες. Οι τιμές που βρίσκονται έξω από τον εσωτερικό φράχτη δεν θα αφαιρεθούν, όμως θεωρούνται απομακρυσμένες και σε περίπτωση που η κατανομή δε δίνει το επιθυμητό αποτέλεσμα θα επανεξεταστούν. Οι τιμές που βρίσκονται έξω από τον εξωτερικό φράχτη θεωρούνται πολύ απομακρυσμένες και για ορθότερη στατιστική ανάλυση του δείγματος θα πρέπει να αφαιρεθούν.

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσγρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

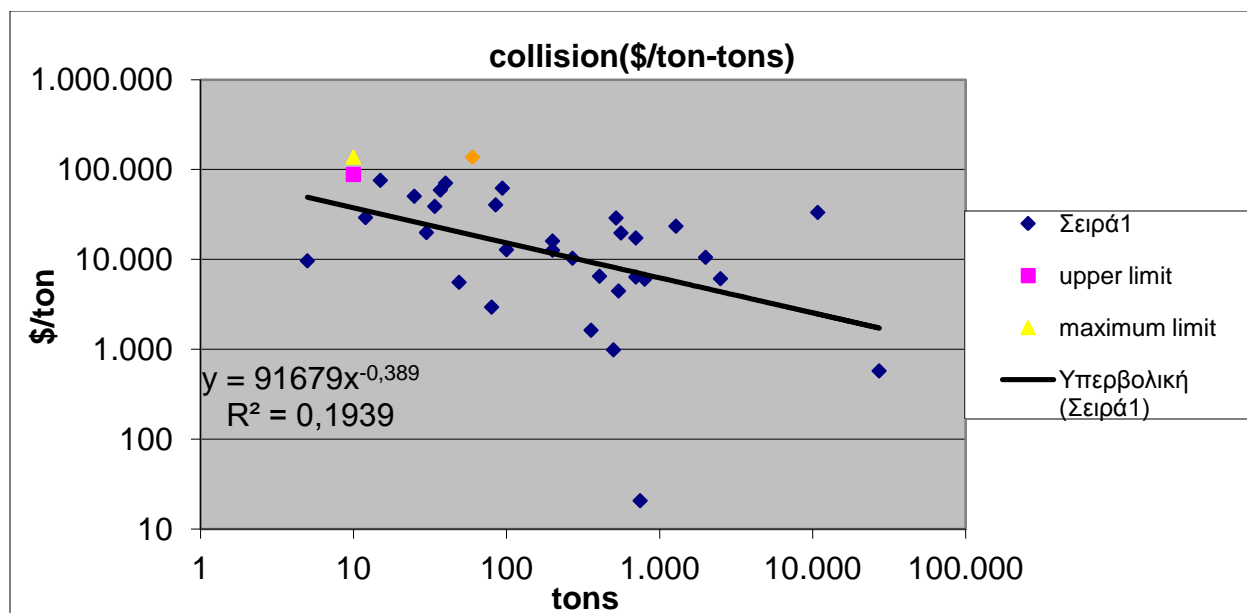
Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής επαληθεύθηκαν μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος SPSS. Εκτός από τα outliers σημεία το πρόγραμμα εμφάνισε ακόμα τα ιστογράμματα, τα φυλλογράμματα και τα θηκογράμματα για τη κάθε κατηγορία. Όμως οι απεικονίσεις αυτές κρίθηκαν περιττές, αφού για τη παραγωγή του μοντέλου δεν θα πρόσφεραν κάποιο επιπλέον αποτέλεσμα.

Στη συνέχεια ακολουθούν οι κατανομές πριν την αφαίρεση των απομακρυσμένων τιμών, στις οποίες γίνονται εμφανείς αυτές οι τιμές με διαφορετικό χρώμα.

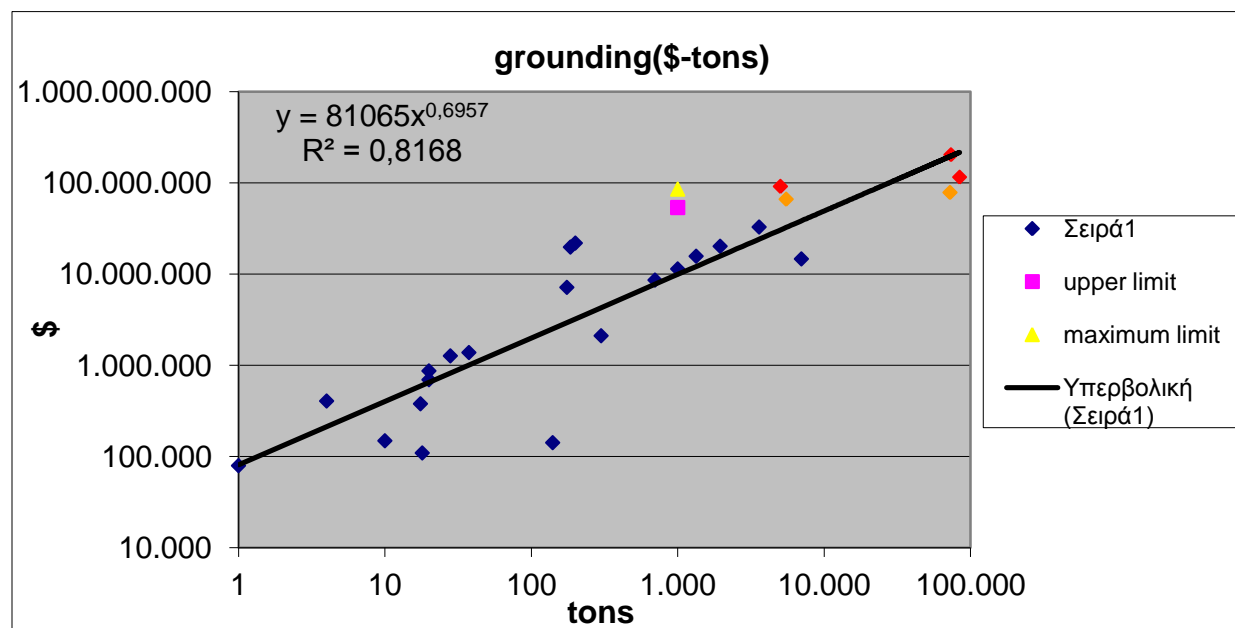


Σχήμα 4: Κατανομή κόστους περιστατικών σύγκρουσης πριν την αφαίρεση απομακρυσμένων παρατηρήσεων

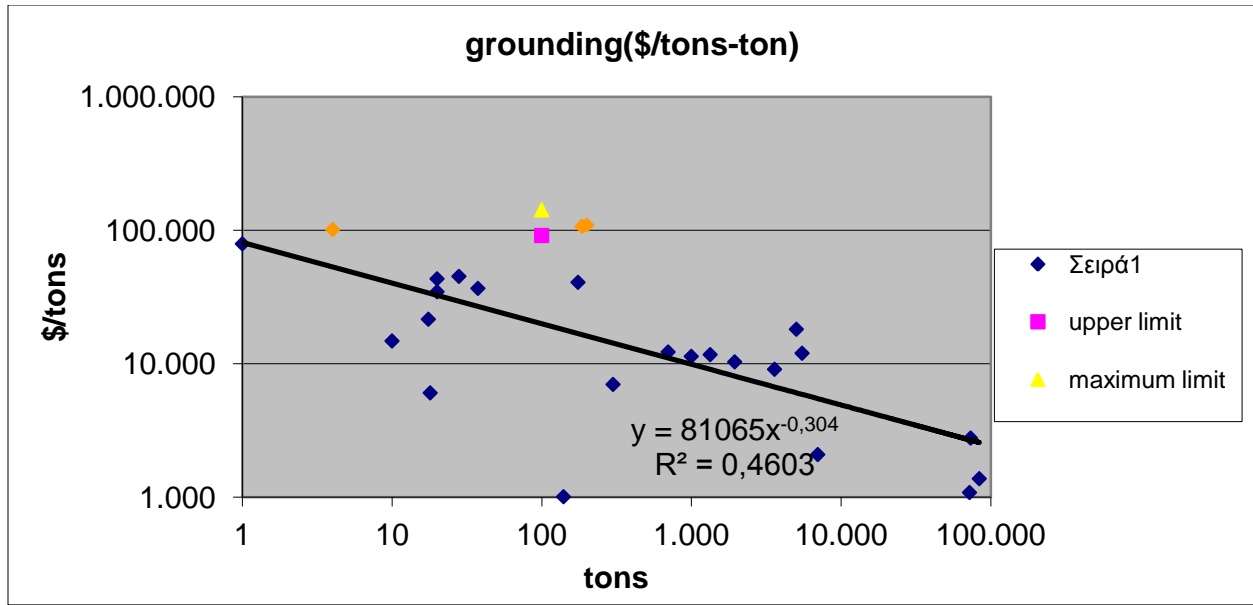
Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία



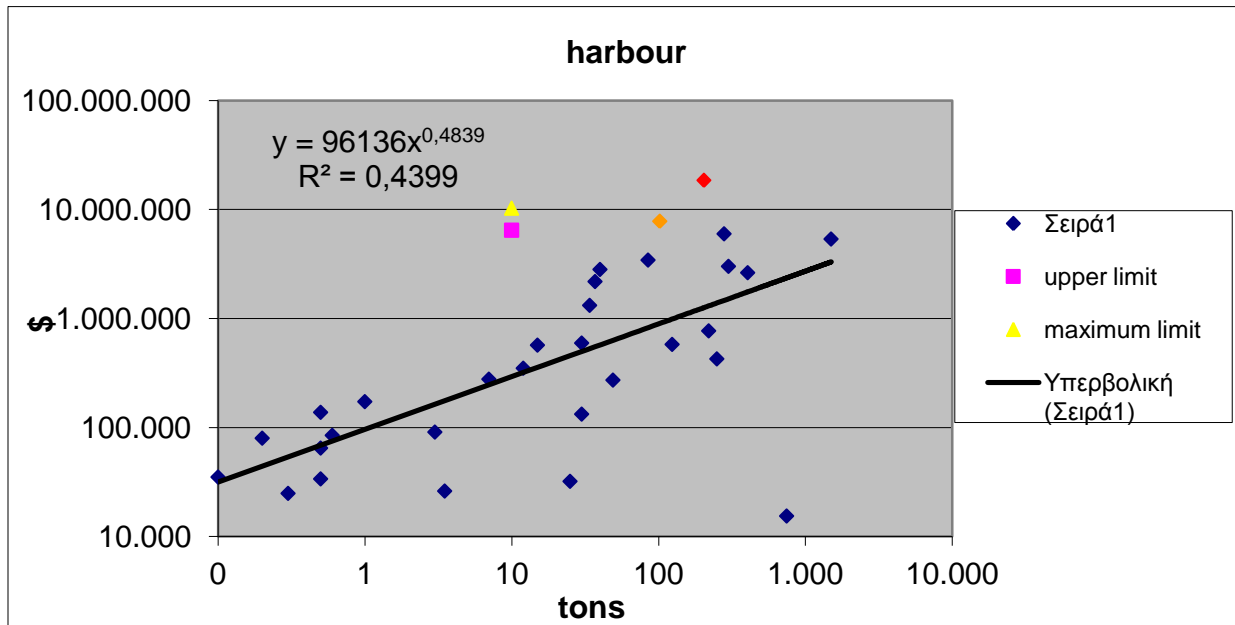
Σχήμα 5: Κατανομή κόστους ανά τόνο περιστατικών σύγκρουσης πριν την αφαίρεση απομακρυσμένων παρατηρήσεων



Σχήμα 6: Κατανομή κόστους περιστατικών προσάραξης πριν την αφαίρεση απομακρυσμένων παρατηρήσεων

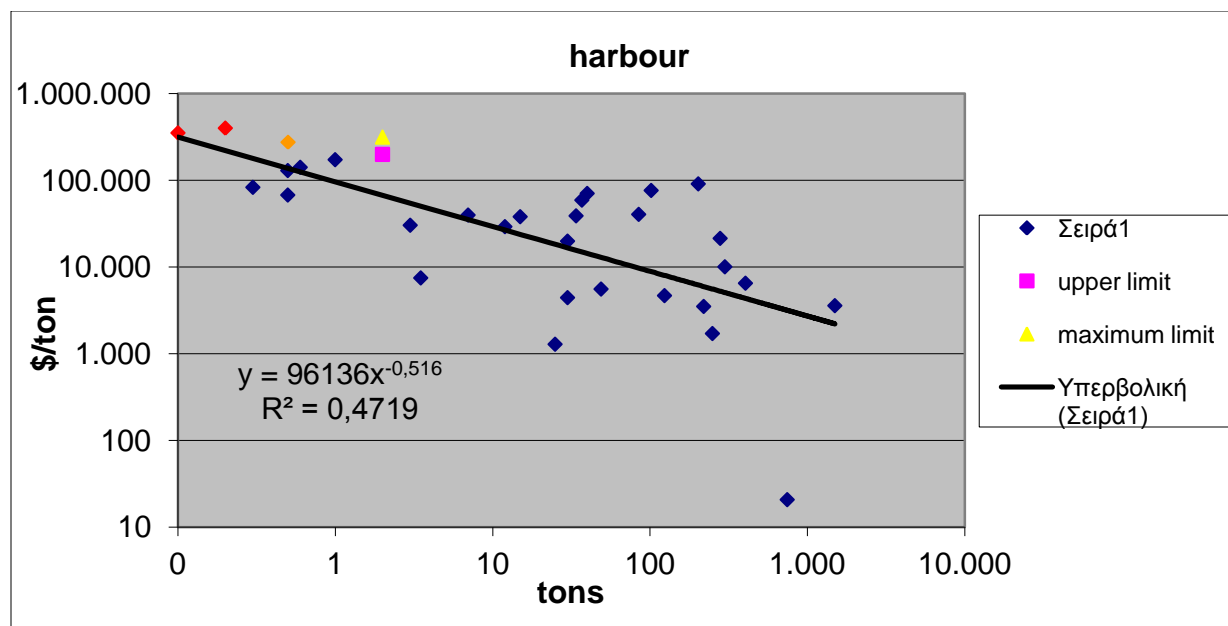


Σχήμα 7: Κατανομή κόστους ανά τόνο περιστατικών προσάραξης πριν την αφαίρεση απομακρυσμένων παρατηρήσεων

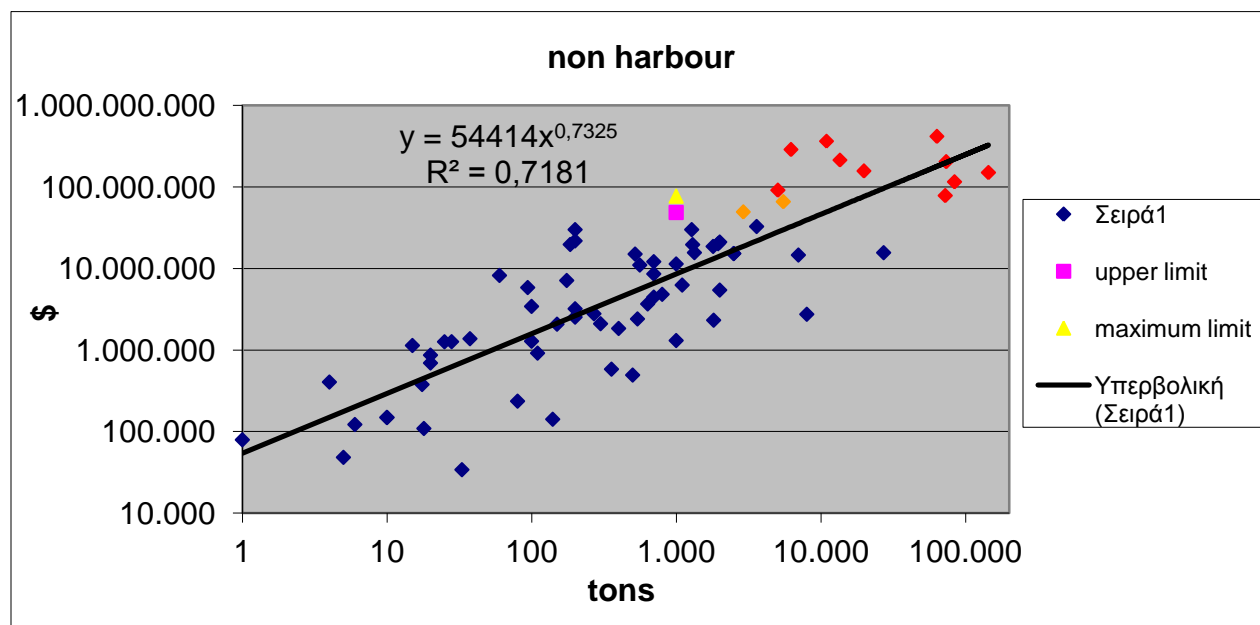


Σχήμα 8: Κατανομή κόστους περιστατικών εντός λιμένα πριν την αφαίρεση απομακρυσμένων παρατηρήσεων

Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

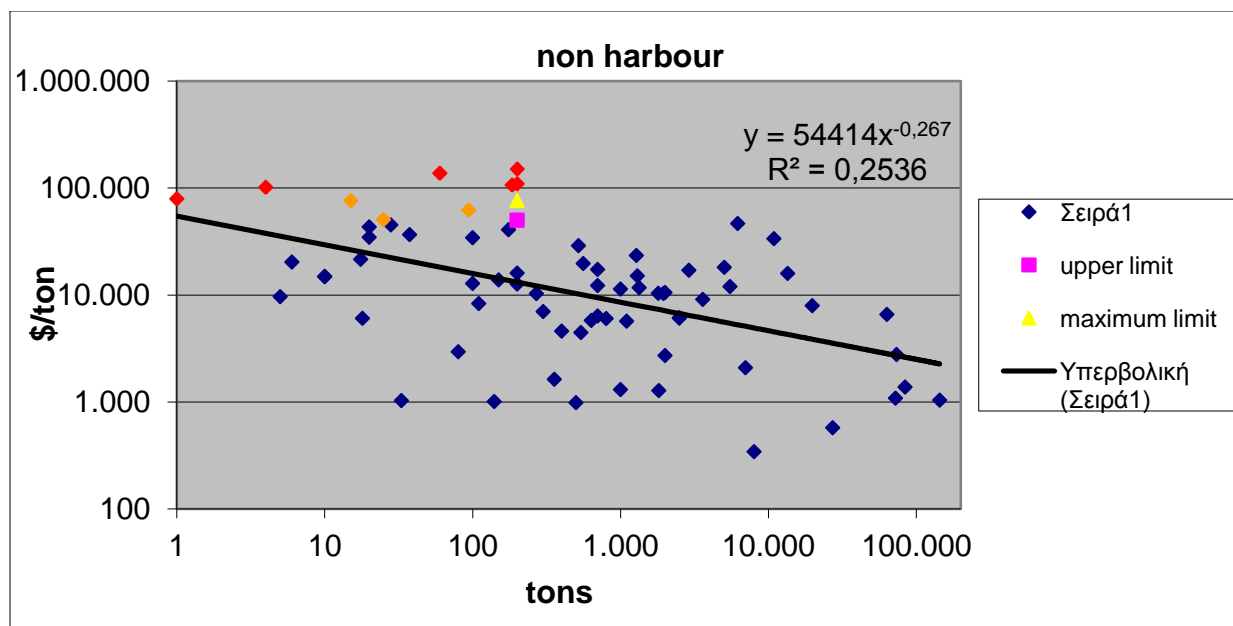


Σχήμα 9: Κατανομή κόστους ανά τόνο περιστατικών εντός λιμένα πριν την αφαίρεση απομακρυσμένων παρατηρήσεων

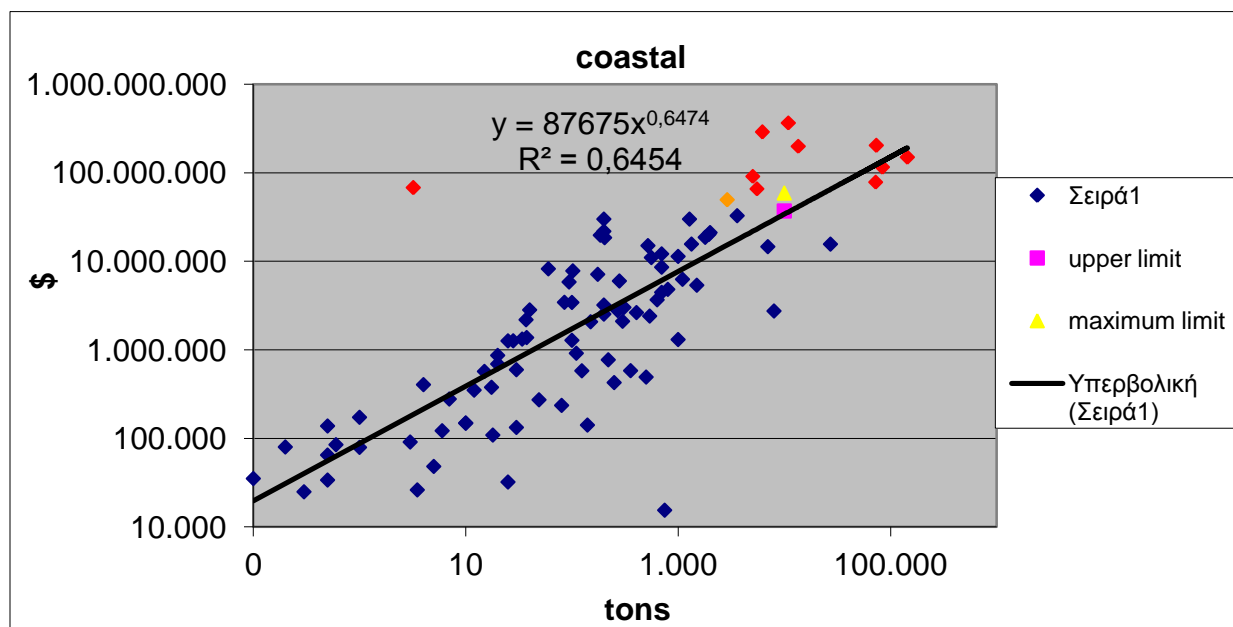


Σχήμα 10: Κατανομή κόστους περιστατικών εκτός λιμένα πριν την αφαίρεση απομακρυσμένων παρατηρήσεων

Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

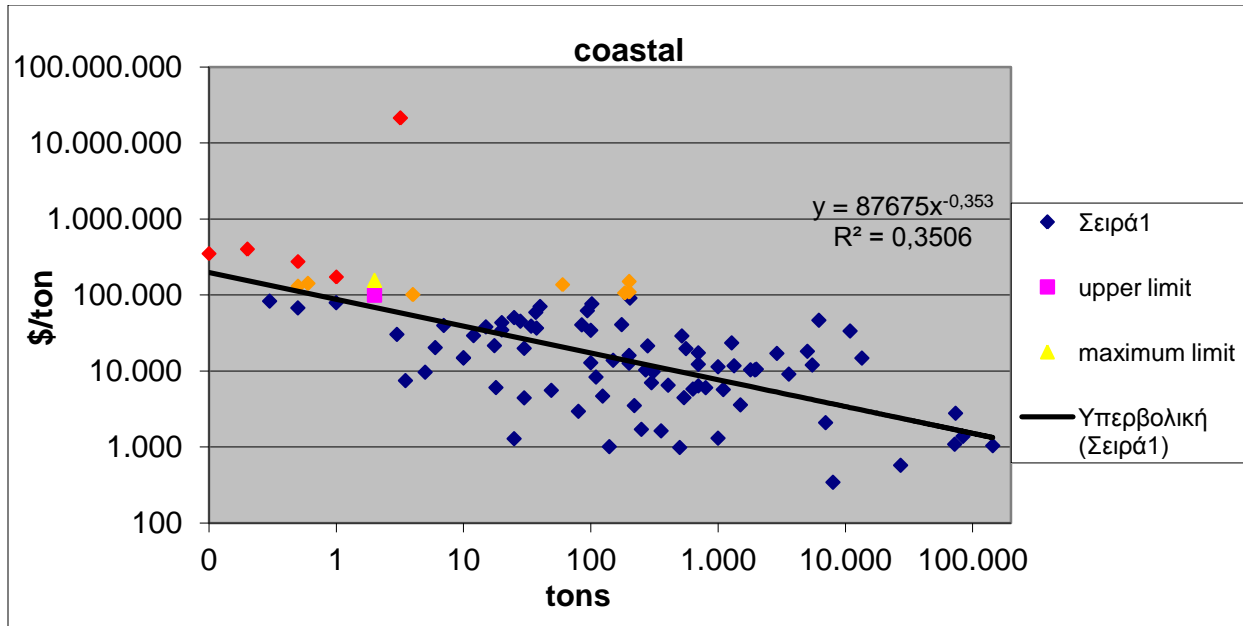


Σχήμα 11: Κατανομή κόστους ανά τόνο περιστατικών εκτός λιμένα πριν την αφαίρεση απομακρυσμένων παρατηρήσεων

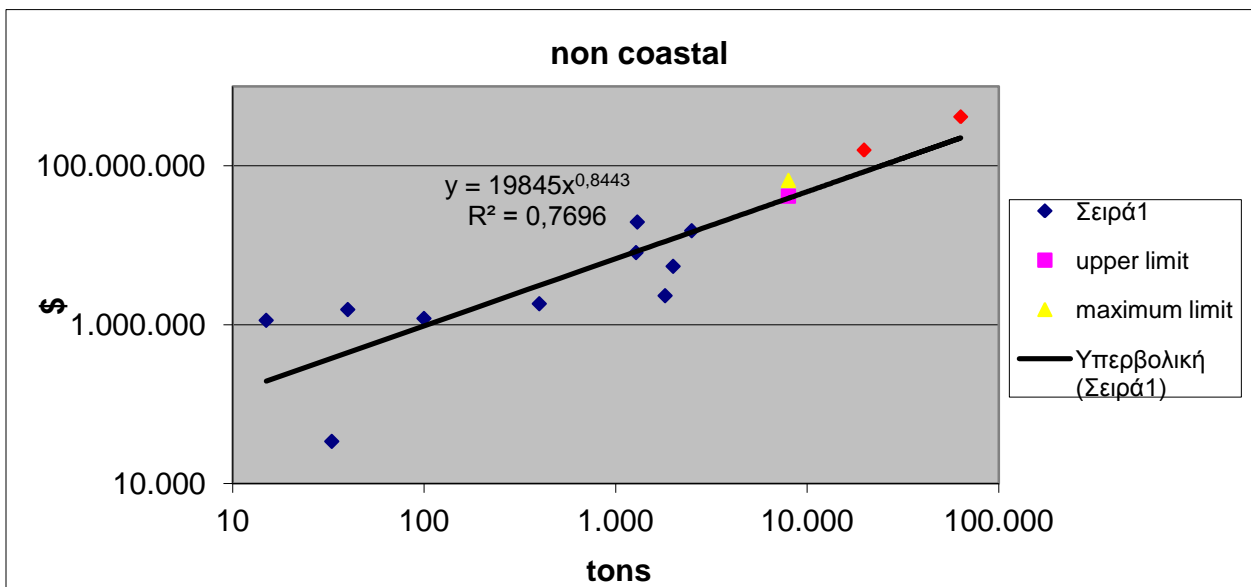


Σχήμα 12: Κατανομή κόστους παράκτιων περιστατικών πριν την αφαίρεση απομακρυσμένων παρατηρήσεων

Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

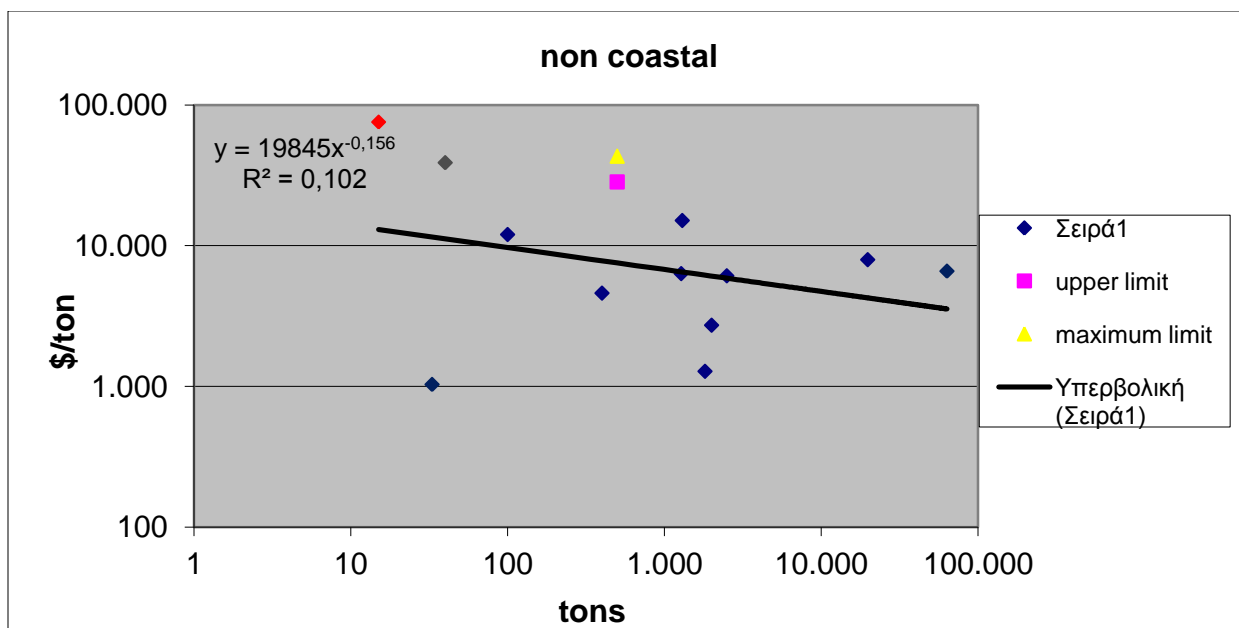


Σχήμα 13: Κατανομή κόστους ανά τόνο παράκτιων περιστατικών πριν την αφαίρεση απομακρυσμένων παρατηρήσεων



Σχήμα 14: Κατανομή κόστους μη παράκτιων περιστατικών πριν την αφαίρεση απομακρυσμένων παρατηρήσεων

Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία



Σχήμα 15: Κατανομή κόστους ανά τόνο μη παράκτιων περιστατικών πριν την αφαίρεση απομακρυσμένων παρατηρήσεων

Για τα παραπάνω διαγράμματα σημειώνεται ότι:

- Με πορτοκαλί χρώμα είναι τα σημεία που βρίσκονται ανάμεσα στον εσωτερικό και εξωτερικό φράχτη
- Με κόκκινο χρώμα είναι τα σημεία που βρίσκονται εκτός του εξωτερικού φράχτη και πρόκειται να αφαιρεθούν
- Με ροζ χρώμα σημειώνεται το ύψος του εσωτερικού φράχτη και είναι ανεξάρτητο των τόνων.
- Με κίτρινο χρώμα σημειώνεται ο εξωτερικός φράχτης με αντίστοιχα χαρακτηριστικά
- Οι άξονες σε όλες τις περιπτώσεις είναι λογαριθμικοί

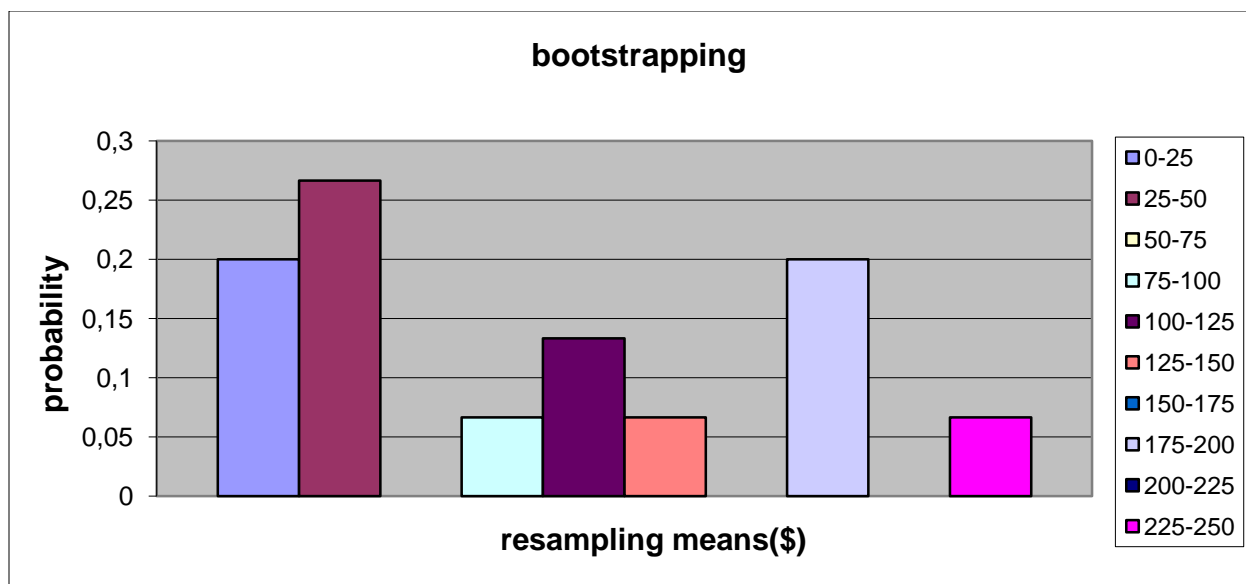
Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

- R^2 είναι ο συντελεστής συσχέτισης που δείχνει το πόσο καλά αυτή η συνάρτηση περιγράφει τα δεδομένα της κατανομής.

Βασικό συμπέρασμα, αν και ανάμενομενο, από τα παραπάνω διαγράμματα είναι το αυξανόμενο κόστος με αύξηση της ποσότητας της κηλίδας και ότι μειώνεται το κόστος ανά τόνο με αύξηση της ποσότητας της κηλίδας.

Αυτό που φαίνεται να έχει πρόβλημα είναι η κατανομή των μη παράκτιων περιστατικών (non coastal). Επειδή έχει μόνο 12 ατυχήματα επηρεάζεται πολύ το αποτέλεσμα από την αφαίρεση της απομακρυσμένης παρατήρησης. Από τα δύο διαγράμματα εκείνο του κόστους ανά τόνο (Σχήμα 15) επηρεάζεται πολύ από την αφαίρεση μιας απομακρυσμένης παρατήρησης, ενώ δε συμβαίνει το ίδιο με το διάγραμμα κόστους (Σχήμα 14). Συνεπώς για τη βελτίωση του αποτελέσματος θα ενδυναμωθεί η αντίστοιχη κατανομή μέσω της τακτικής «bootstrapping», η οποία είναι και η πιο απλή μέθοδος ενδυνάμωσης δειγμάτων σε σχέση με άλλες (π.χ. Monte Carlo).

Ο όρος Bootstrapping αποδίδεται στην προσπάθεια κάποιου να βελτιωθεί, χρησιμοποιώντας αποκλειστικά τα δικά του μέσα. Αυτό που κάνει ουσιαστικά είναι να αναλύει τις περιοχές τιμών που βρίσκονται τα δείγματα ώστε να βρει τη πιθανότητα να βρίσκεται ένα τυχαίο δείγμα σε κάθε περιοχή τιμών. Με αυτό το τρόπο και χωρίς να αλλάξει η κατανομή, ενισχύεται μέσω γέννησης νέων σημείων. Αρχικά ακολουθεί το διάγραμμα πιθανότητας:

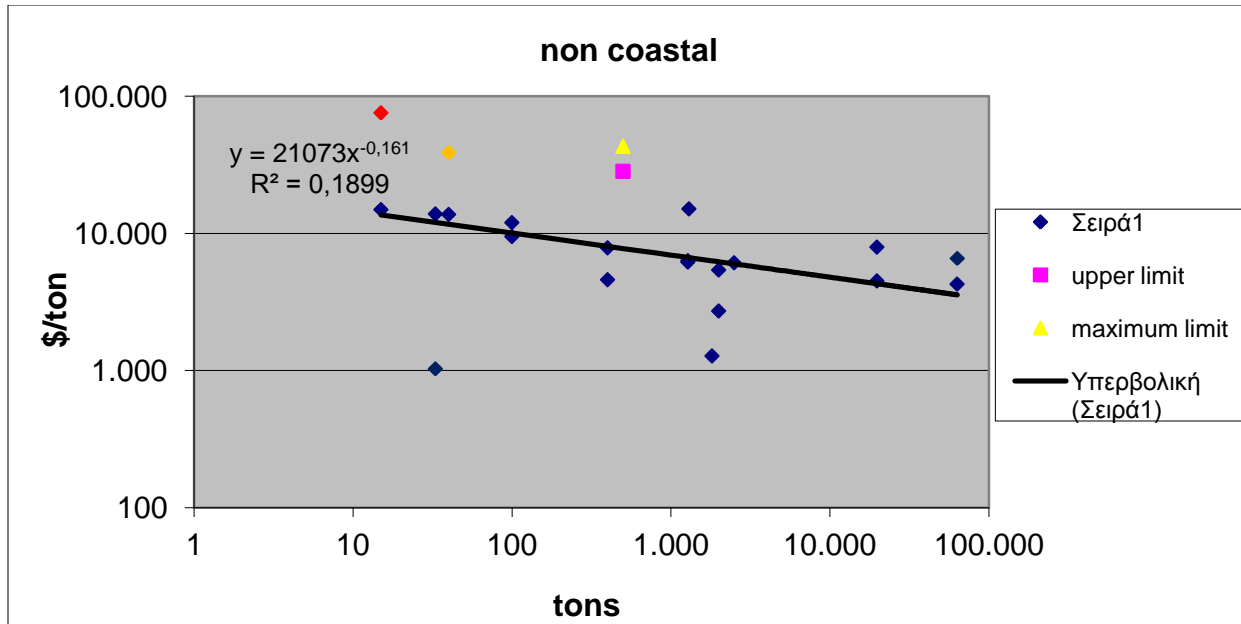


Σχήμα 16: Πιθανοθεωρητική ανάλυση περιοχών τιμών κόστους μη παράκτιων περιστατικών

Από αυτό το διάγραμμα (Σχήμα 16) φαίνεται σε ποιες περιοχές τιμών έχουμε περισσότερα περιστατικά και σε ποιες λιγότερα. Η γέννηση σημείων έγινε μέσω «add-in» στο excel, δηλαδή πρόσθετου προγράμματος για πιο προχωρημένες αναλύσεις. Το πρόσθετο αυτό ονομάζεται «bootstrapping». Φυσικά ακολούθησε όπως και στη διαδικασία εύρεσης των outliers, επαλήθευση του αποτελέσματος μέσω ενός άλλου προγράμματος, το οποίο ονομάζεται BESTfit. Βέβαια λόγω τυχαίας δειγματοληψίας τα νέα δείγματα ήταν μεν διαφορετικά, όμως η κατανομή και στις δύο περιπτώσεις παρέμενε η ίδια.

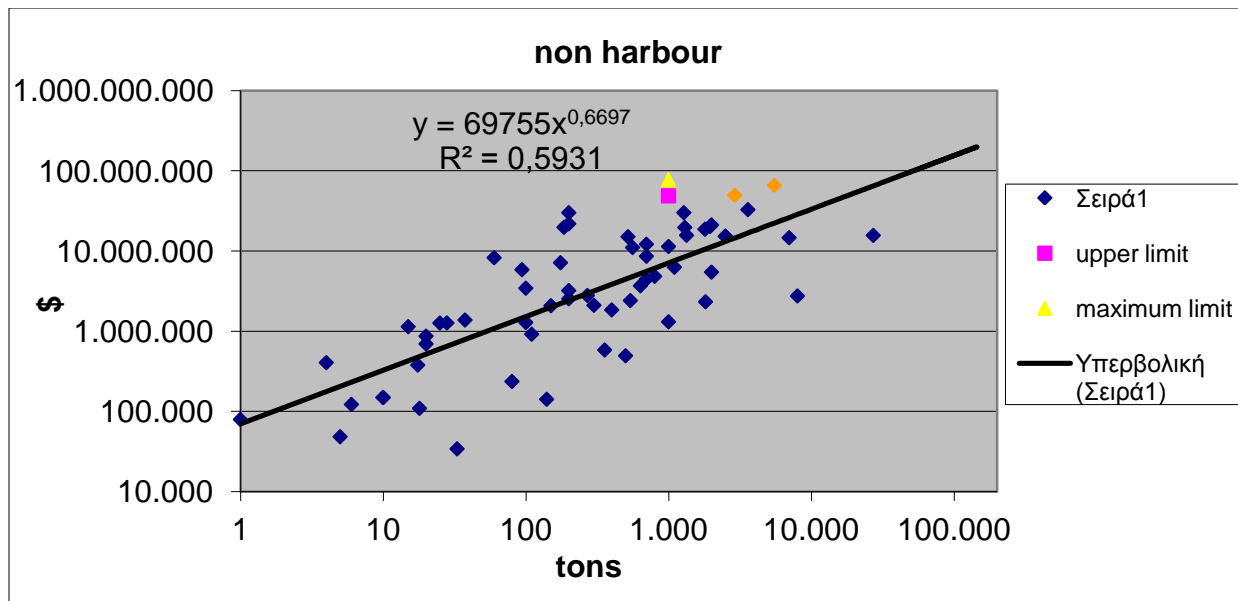
Παρακάτω ακολουθεί η νέα κατανομή με τα νέα δείγματα αλλά και με την απομακρυσμένη παρατήρηση με κόκκινο χρώμα:

Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία



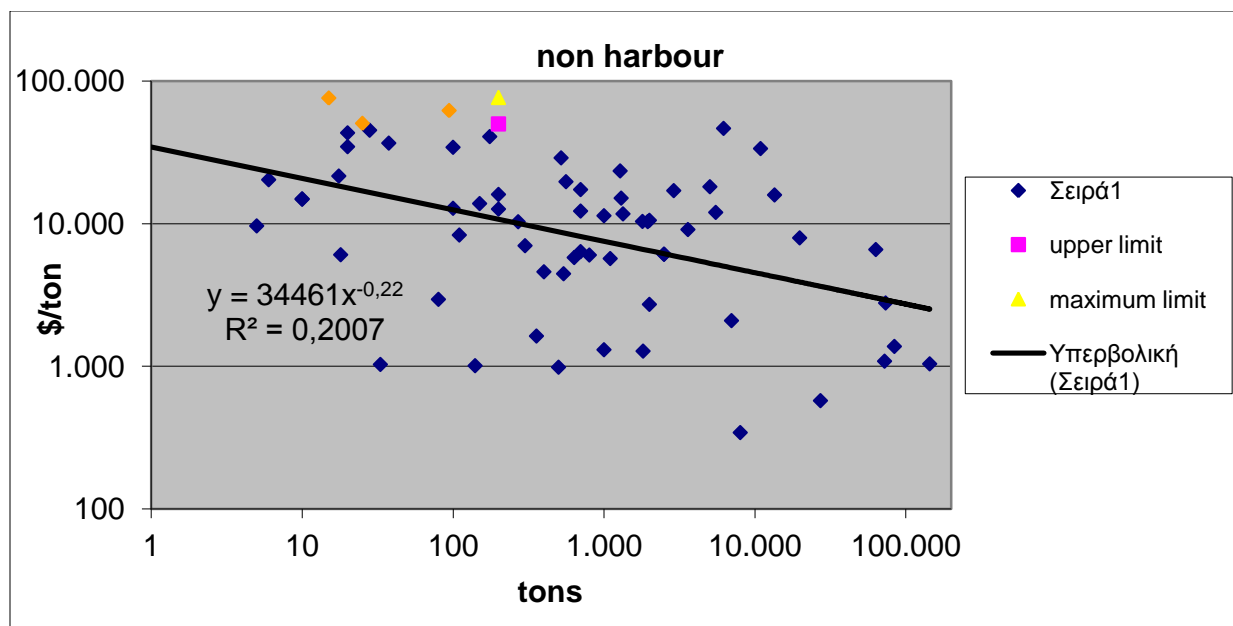
Σχήμα 17: Κατανομή κόστους ανά τόνο μη παράκτιων περιστατικών έπειτα από γέννηση νέων σημείων πριν την αφαίρεση απομακρυσμένων παρατηρήσεων

Στη συνέχεια ακολουθούν ενδεικτικά κάποια από τα παραπάνω σχήματα στα οποία είχαμε σημαντικές μεταβολές στις νέες τους κατανομές:

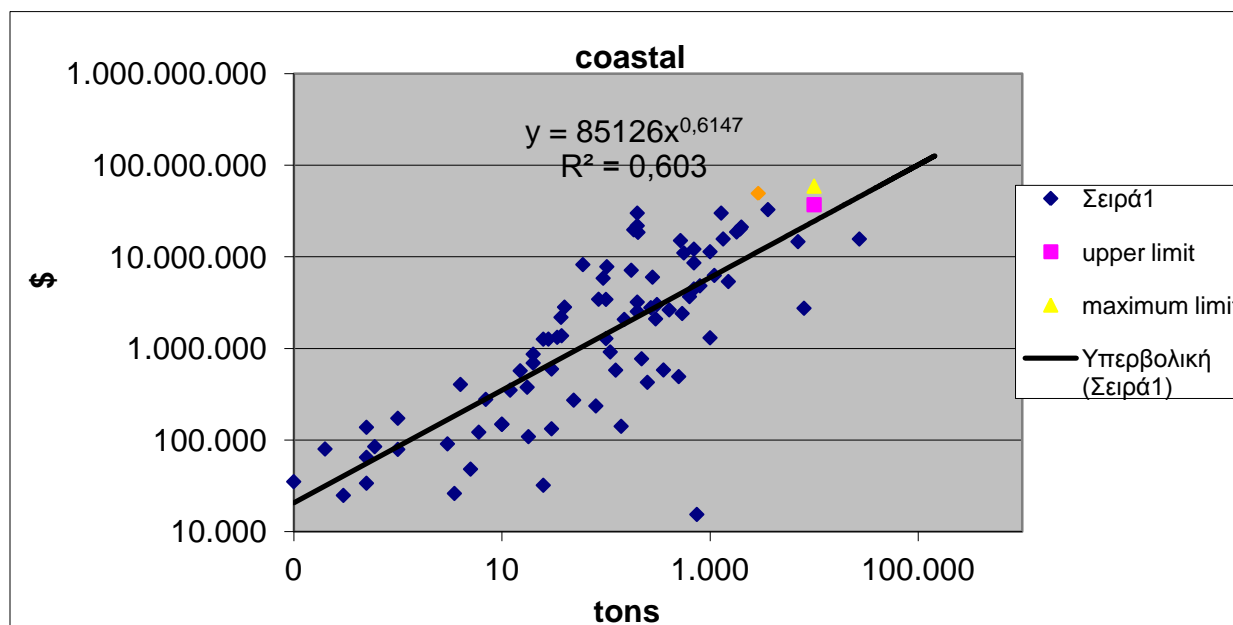


Σχήμα 18: Κατανομή κόστους περιστατικών εκτός λιμένα μετά την αφαίρεση απομακρυσμένων παρατηρήσεων

Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

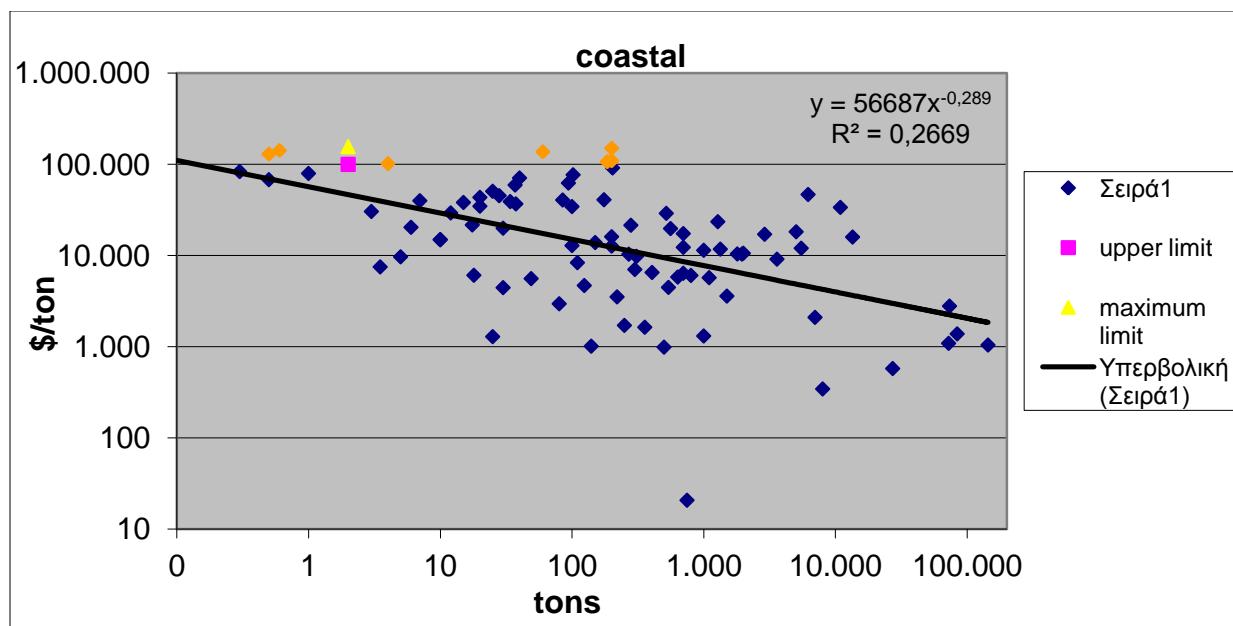


Σχήμα 19: Κατανομή κόστους ανά τόνο περιστατικών εκτός λιμένα μετά την αφαίρεση απομακρυσμένων παρατηρήσεων

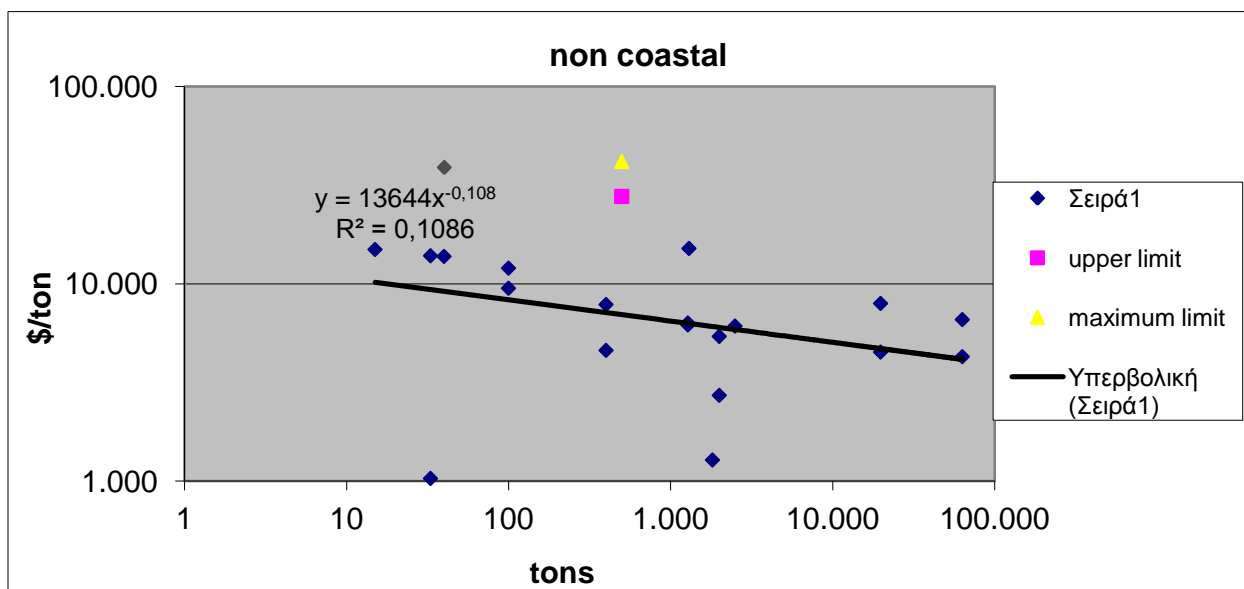


Σχήμα 20: Κατανομή κόστους παράκτιων περιστατικών μετά την αφαίρεση απομακρυσμένων παρατηρήσεων

Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία



Σχήμα 21: Κατανομή κόστους ανά τόνο παράκτιων περιστατικών μετά την αφαίρεση απομακρυσμένων παρατηρήσεων



Σχήμα 22: Κατανομή κόστους ανά τόνο μη παράκτιων περιστατικών μετά την ενδυνάμωση του δείγματος και μετά την αφαίρεση απομακρυσμένων παρατηρήσεων

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Ακολουθεί πίνακας που παραθέτει τη συνάρτηση πριν και μετά την outlier analysis και στον οποίο γίνεται εμφανές το πόσο επηρεαζόταν το αποτέλεσμα από αυτά.

	Συνάρτηση πριν την outlier analysis	Συνάρτηση μετά την outlier analysis
Εκτός λιμένα κατανομή κόστους	$y = 54414x^{0,7325}$	$y = 69755x^{0,6697}$
Εκτός λιμένα κατανομή κόστους ανά τόνο	$y = 54414x^{-0,267}$	$y = 34461x^{-0,22}$
Κατανομή κόστους παράκτιων περιστατικών	$y = 87675x^{0,6474}$	$y = 85126x^{0,6147}$
Κατανομή κόστους ανά τόνο παράκτιων περιστατικών	$y = 87675x^{-0,353}$	$y = 56687x^{-0,289}$
Κατανομή κόστους ανά τόνο μη παράκτιων περιστατικών	$y = 19845x^{-0,156}$	$y = 13644x^{-0,108}$

Πίνακας 6: Συναρτήσεις κόστους πριν και μετά την απομάκρυνση ακραίων τιμών

Z) Κόστος ανά τόνο (per unit cost) και οριακό κόστος(marginal cost)

Έχοντας πια όλες τις τελικές κατανομές μπορούμε να μελετήσουμε και να συγκρίνουμε τα οριακά και ανά μονάδα κόστη για να πάρουμε μία τελευταία

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

ένδειξη των αποτελεσμάτων της στατιστικής ανάλυσης των ατυχημάτων. Ακολουθούν πίνακες και για τις δύο μελέτες (κόστος και κόστος ανά τόνο) με τα στοιχεία αυτά για την κάθε κατηγορία:

Εξεταζόμενο αρχείο	Αριθμός ατυχημάτων αρχείου	Κόστος ανά μονάδα (\$ ανά τόνο)	Οριακό κόστος (\$)
Σύγκρουση (collision)	25	4.313,033278	$73.634 * X^{-0.4929}$
Προσάραξη (grounding)	32	1.182,192	$55.171 X^{-0.3047}$
Εντός λιμένα (harbor)	31	9.151	$43.379 X^{-0.5485}$
Εκτός λιμένα (non harbor)	71	6.448,396954	$46.715 X^{-0.3303}$
Παράκτια (coastal)	93	10.022,02	$52.327 X^{-0.385}$
Μη παράκτια (non coastal)	12	5.959,784569	$31.293 X^{-0.324}$

Πίνακας 7: Συναρτήσεις κόστους ανά μονάδα και οριακού κόστους ανά κατηγορία

Από τα αποτελέσματα παρατηρείται ότι:

- Τα ατυχήματα συγκρούσεων έχουν μεγαλύτερη τιμή κόστους ανά μονάδα (\$ ανά τόνο). Αυτό συμβαίνει διότι στα ατυχήματα προσάραξης έχουμε αρκετά ατυχήματα με πολύ μεγάλη εκροή πετρελαίου, τα οποία έχουν μικρό κόστος ανά

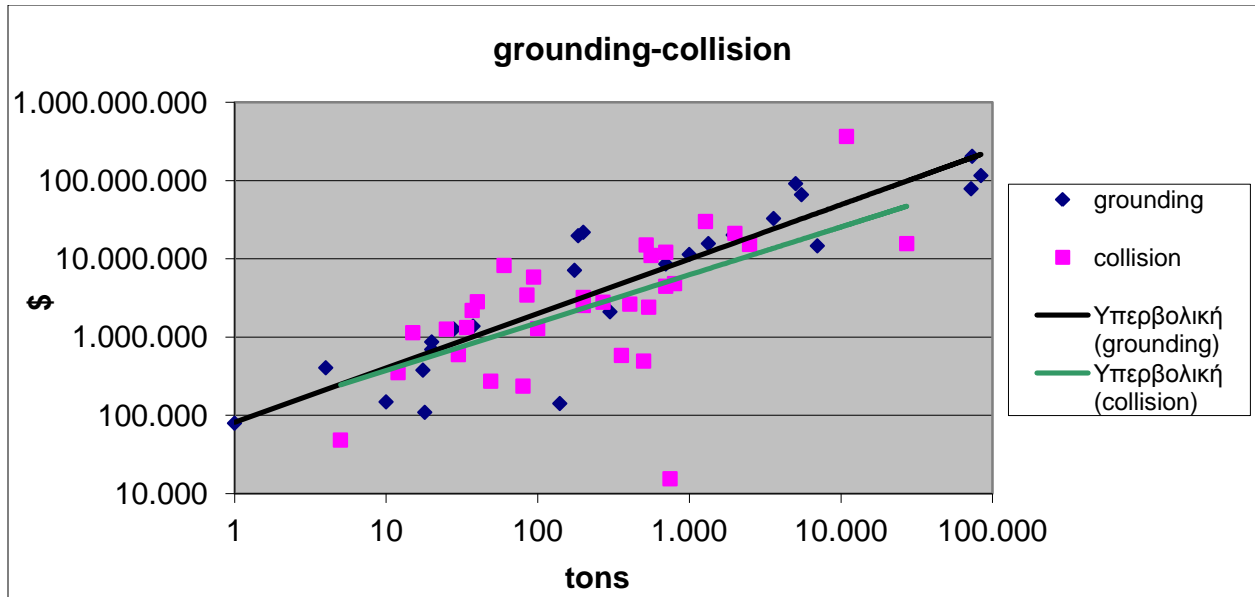
Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

τόνο (συμπέρασμα που έχει αναφερθεί πιο πάνω). Τα ατυχήματα προσάραξης έχουν επίσης μεγαλύτερες τιμές οριακού κόστους από αυτά των προσαράξεων, το οποίο σημαίνει ότι με μία επιπλέον μονάδα ποσότητας πετρελαίου στη θάλασσα σε περιστατικά προσάραξης θα αυξήσει περισσότερο το κόστος από ότι θα γινόταν σε ατύχημα σύγκρουσης, αποτέλεσμα λογικό αφού τα ατυχήματα προσάραξης είναι πάντοτε κοντά σε ακτές και μία επιπλέον μονάδα μπορεί να πλήξει μεγαλύτερο μήκος ακτών και να επιβαρυνθεί το κόστος.

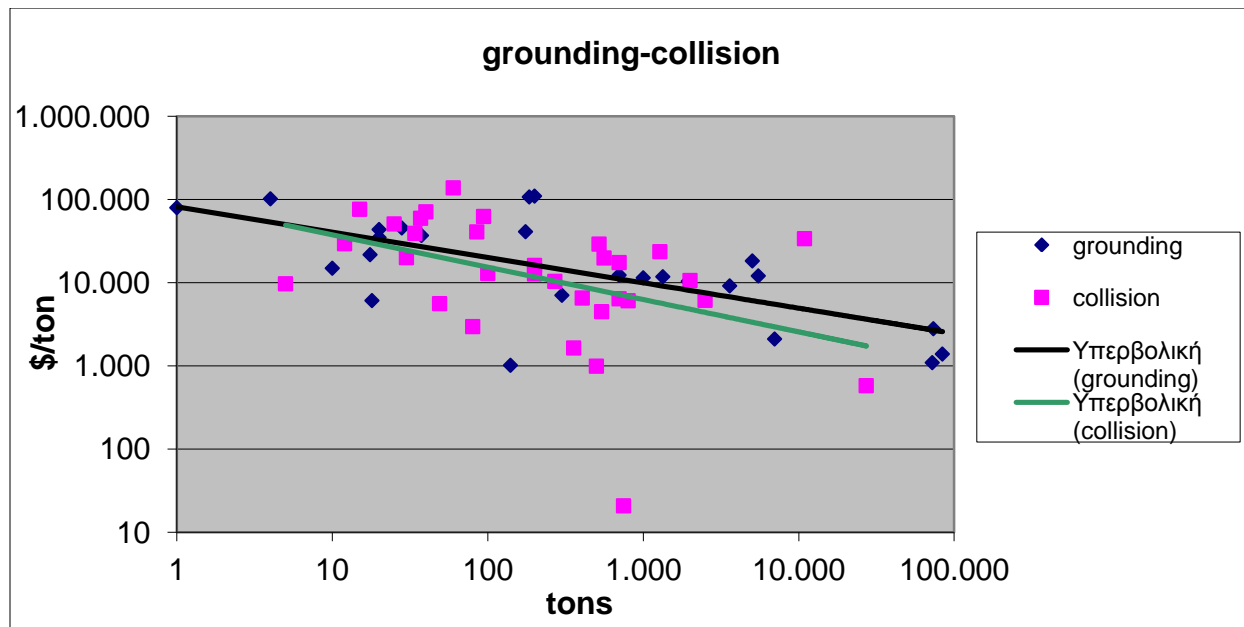
- Τα ατυχήματα εντός λιμένα έχουν μεγαλύτερο κόστος ανά μονάδα σε σχέση με τα εκτός λιμένα. Αυτό είναι λογικό αφού μέσα σε λιμάνια έχουμε συχνά πολύ μικρές διαρροές στις οποίες όμως χρησιμοποιούμε τα ίδια μέσα καταπολέμησης με μεγαλύτερες άρα και παραπλήσιο κόστος για μεγαλύτερες κηλίδες όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω σε αντίστοιχο συμπέρασμα. Στα ατυχήματα εκτός λιμένα, σε σχέση με τα εντός λιμένα, έχουμε μεγαλύτερο οριακό κόστος αποτέλεσμα λογικό αφού η διαχείριση μιας μεγαλύτερης κηλίδας εντός λιμανιού είναι πιο εύκολη όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω.
- Τα παράκτια ατυχήματα έχουν μεγαλύτερο οριακό κόστος από τα μη παράκτια, πράγμα αναμενόμενο λόγω της γνωστής από παραπάνω μεγάλης οικονομικής επιβάρυνσης σε μεγαλύτερη μόλυνση ακτών. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και από το κόστος ανά μονάδα.

Έχοντας πια τις τελικές κατανομές και την ενδελεχή ανάλυση και σύγκριση των περιστατικών μέσω των παραπάνω βημάτων ακολουθεί και η απεικόνιση των κατανομών ανά δύο ώστε να γίνεται εμφανής η διαφορά μεταξύ τους:

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

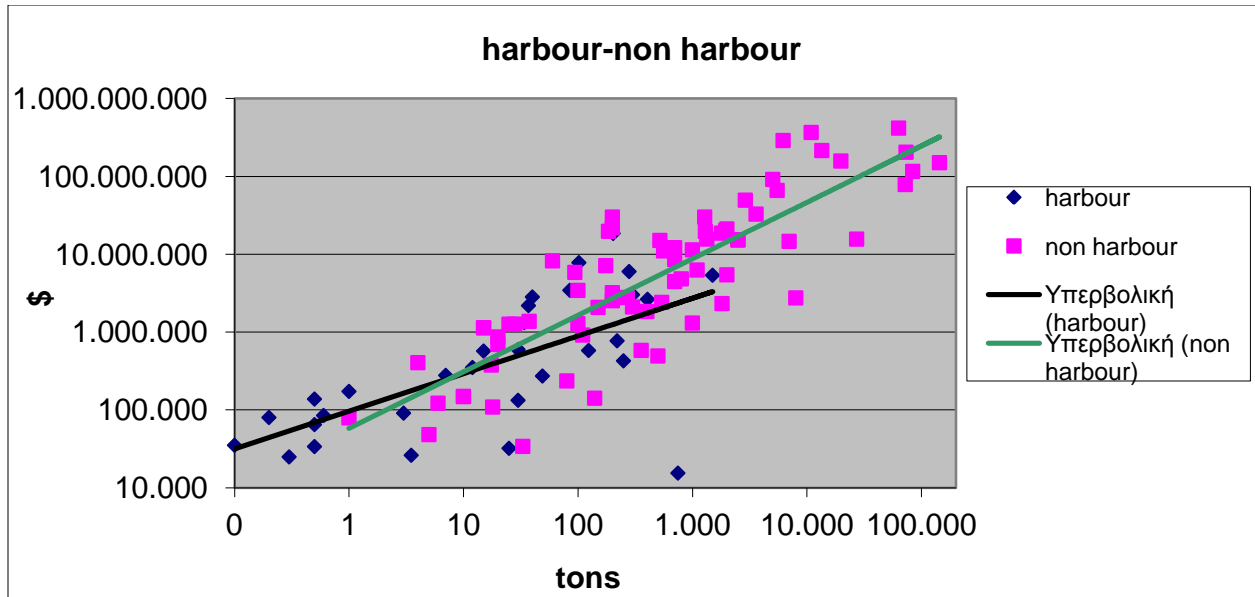


Σχήμα 23: Συγκριτική κατανομή τιμών κόστους περιστατικών προσαράξεων - συγκρούσεων

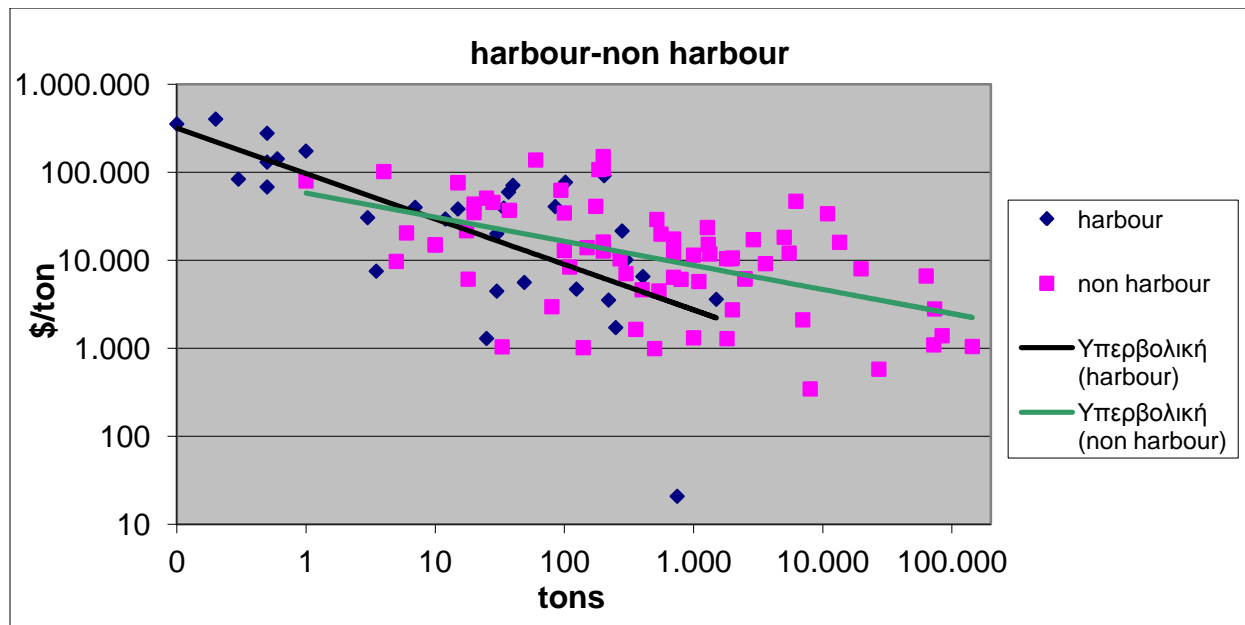


Σχήμα 24: Συγκριτική κατανομή τιμών κόστους ανά τόνο ριστατικών προσαράξεων - συγκρούσεων

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

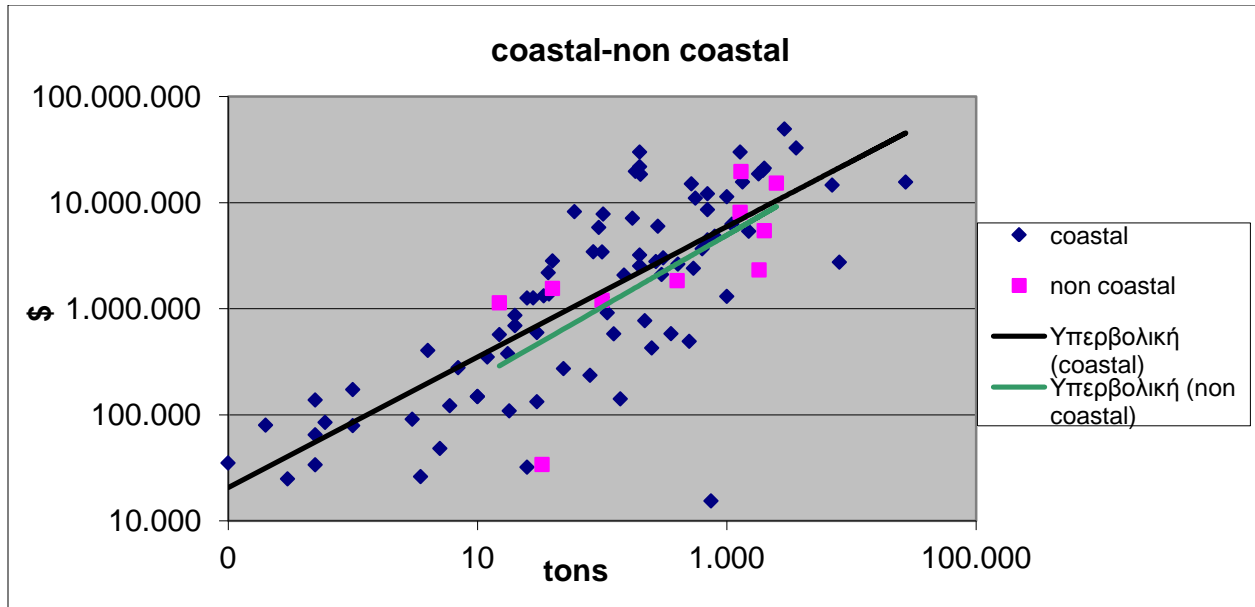


Σχήμα 25: Συγκριτική κατανομή τιμών κόστους περιστατικών εντός λιμένα – εκτός λιμένα

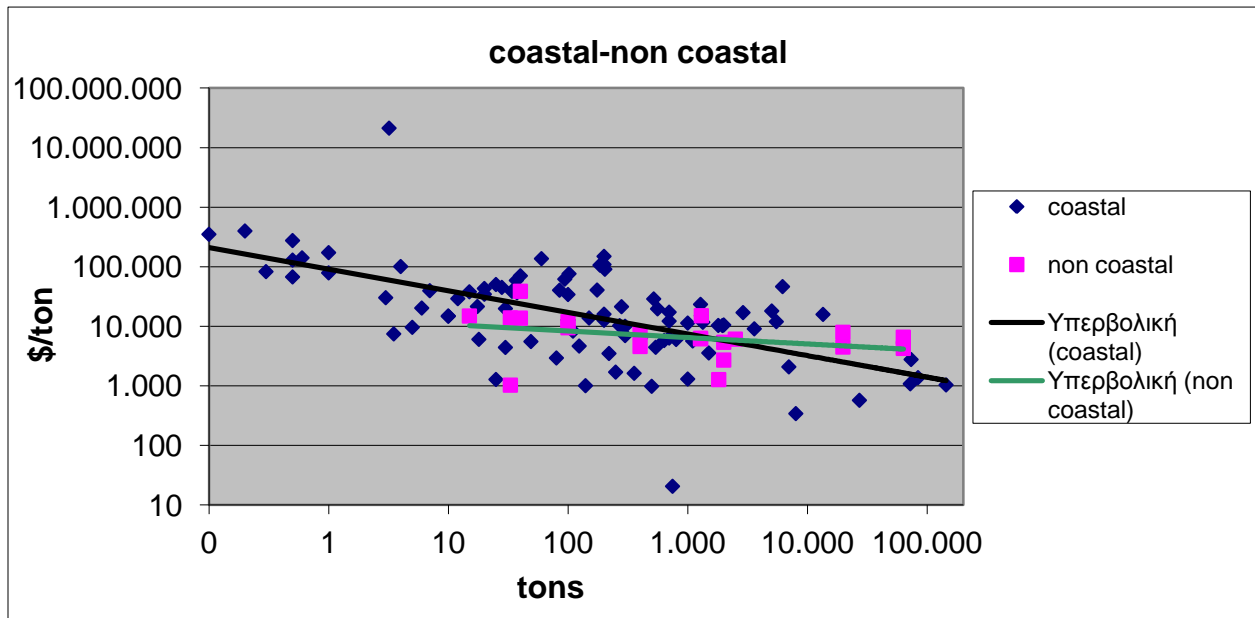


Σχήμα 26: Συγκριτική κατανομή τιμών κόστους ανά τόνο περιστατικών εντός λιμένα – εκτός λιμένα

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία



Σχήμα 27: Συγκριτική κατανομή τιμών κόστους παράκτιων – μη παράκτιων περιστατικών



Σχήμα 28: Συγκριτική κατανομή τιμών κόστους ανά τόνο παράκτιων – μη παράκτιων περιστατικών

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσγρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Για τα παραπάνω διαγράμματα σημειώνεται ότι οι κατηγορίες στο κάθε διάγραμμα εμφανίζονται με διαφορετικό χρώμα (μπλε και ροζ), όπως και οι αντίστοιχες trendlines (μαύρο και πράσινο).

Τα συμπεράσματα που βγαίνουν από τις συγκριτικές κατανομές είναι τα εξής:

- Τα ατυχήματα προσάραξης σε σχέση με τα ατυχήματα σύγκρουσης έχουν μεγαλύτερες τιμές και στα δύο διαγράμματα (Σχήμα 23, Σχήμα 24), όπως είχε αναλυθεί και πιο πάνω. Όμως, οι διαφορές τους δεν είναι μεγάλες, κάτι που αναμένονταν μέσω των αποτελεσμάτων των τεστ.

- Στα ατυχήματα εντός και εκτός λιμένα βλέπουμε και τις πιο μεγάλες διαφορές (Σχήμα 25, Σχήμα 26). Μεγάλη διαφορά στην κλίση και κατ'επέκταση στις τιμές κάτι που είχε αναφερθεί και πιο πάνω, όμως η διαφορά είναι μεγαλύτερης τάξης από αυτές που προέκυπταν μέσω της μέσης τιμής και της διαμέσου.

- Στα παράκτια και μη παράκτια ατυχήματα (Σχήμα 27, Σχήμα 28), παρά το ότι υπήρχαν μεγάλες διαφορές στις μέσες τιμές και στις διαμέσους τους, έχουμε σχεδόν παράλληλη κλίση στη μελέτη του κόστους, με το κόστος στις παράκτιες να είναι ελαφρώς μεγαλύτερο για ίδιες κηλίδες, αφού σε παράκτια ατυχήματα πρέπει να αντιμετωπιστεί η περιβαλλοντική καταστροφή και να αποζημιωθούν όσοι σχετίζονται με τον τουρισμό και την αλιευτική δραστηριότητα. Βεβαίως, όπως παρατηρήθηκε πριν αφαιρεθούν απομακρυσμένες παρατηρήσεις, σε πολύ μεγάλα ατυχήματα έχουμε μεγαλύτερο κόστος σε ανοιχτές θάλασσες αφού ο καθαρισμός σε βυθίσεις πλοίων με μεγάλο φορτίο πετρελαίου μπορεί να κρατήσουν και χρόνια με το συνολικό κόστος να επιβαρύνεται σημαντικά. Δε συμβαίνει το ίδιο όμως με τη μελέτη του κόστους ανά τόνο, όπου τα μη παράκτια ατυχήματα έχουν

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

μικρή κλίση, με το κόστος ανά τόνο να μειώνεται σε μικρό βαθμό με την αύξηση του μεγέθους της κηλίδας. Στα παράκτια ατυχήματα υπάρχει πιο απότομη κλίση επειδή περιέχονται κάποια πολύ μικρά σε ποσότητα ατυχήματα εντός λιμένων που αυξάνουν τη κλίση της κατανομής αφού έχουν μεγάλο κόστος ανά τόνο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΩΝ

4.1 Εμπλουτισμός του δείγματος του μοντέλου εκτίμησης του συνολικού κόστους πετρελαιοκηλίδων

Κατά τη πρώτη προσπάθεια κατασκευής του στατιστικού μοντέλου διαπιστώθηκε ότι σίγουρα μια βάση δεδομένων με 100 περίπου περιστατικά είναι τελικά αρκετά περιορισμένη σε αριθμό, με κίνδυνο το μοντέλο να δώσει αποτελέσματα με χαμηλό δείκτη αξιοπιστίας και βεβαιότητας. Γι' αυτό το λόγο αποφασίστηκε να εμπλουτιστεί το δείγμα μέσω άλλων βάσεων δεδομένων από στοιχεία άλλων αρμόδιων φορέων:

- Από τη Διεύθυνση Προστασίας Θαλασσιού Περιβάλλοντος (Δ.Π.Θ.Π.), η οποία υπάγεται στο Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας, Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής και είναι αρμόδια για την πρόληψη, τον συντονισμό των εργασιών αντιμετώπισης των περιστατικών ρύπανσης και την επιβολή των προβλεπόμενων κυρώσεων στους παραβάτες
- Από πληροφορίες και στοιχεία που προέρχονται από νορβηγική πηγή για περιστατικά που έχουν συμβεί στη Νορβηγία
- Από πληροφορίες και στοιχεία που προέρχονται από τις Η.Π.Α. για περιστατικά που έχουν συμβεί σε θαλάσσιες περιοχές της χώρας

Επειδή και οι 3 βάσεις περιέχουν πολλές διαρροές μικρότερες από 1 τόνο (σε ποσοστό πάνω από το 50% των δειγμάτων) σε αντίθεση με τη βάση του ΙΟΡCF που περιείχε μόλις 6, αποφασίστηκε αυτές να μην ενταχθούν στο μοντέλο και επηρεάσουν το αποτέλεσμα.

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Η πρώτη βάση δεδομένων αφορά ατυχήματα στον ελλαδικό θαλάσσιο χώρο, κατά τα έτη 2000 έως 2007. Τα ατυχήματα που εντάχθηκαν ήταν 41 και οι ποσότητες διαρροών (μετά την αφαίρεση των περιστατικών με διαρροές μεταξύ 0,1 και 0,9 τόνων) κυμαίνονται μεταξύ ενός και 500 τόνων. Η βάση αυτή έχει δεδομένα για όλες τις πληροφορίες που χρειάζονται (περιοχή, είδος ατυχήματος, απόσταση από την ακτή, αποζημίωση εμπλακομένων με την αλιευτική δραστηριότητα) εκτός από το συνολικό κόστος, αφού έχει πληροφορίες μόνο για το κόστος καθαρισμού της πετρελαιοκηλίδας. Συνεπώς, χρησιμοποιήθηκε ειδικός συντέλεστης μετατροπής από κόστος καθαρισμού σε συνολικό κόστος με βάση την ίδια τακτική που εμπεριείχαν τα στοιχεία που αντλήθηκαν από τις Η.Π.Α. και θα εξηγηθεί αναλυτικότερα παρακάτω. Το συνολικό τους κόστος μετατράπηκε από ευρώ 2007 σε δολάρια 2009 και κυμαίνεται μεταξύ 31.000 \$ και 6.000.000 \$ περίπου.

Η δεύτερη βάση δεδομένων αφορά ατυχήματα σε νορβηγικά ύδατα και περιέχει 17 ατυχήματα από το 1981 έως το 2009. Περιέχει ακριβείς πληροφορίες για συνολικό κόστος, ποσότητα και όλες τις άλλες απαραίτητες πληροφορίες εκτός από το αν εμπεριέχονται στο συνολικό κόστος αποζημιώσεις για την αλιευτική δραστηριότητα. Αντίστοιχο πρόβλημα έχουμε και στην βάση δεδομένων των Η.Π.Α. κάτι που σίγουρα θα δυσκολέψει την εκτίμηση κόστους σε περιστατικά που αποζημιώθηκαν όσοι σχετίζονται με την αλιευτική δραστηριότητα. Οι ποσότητες κυμαίνονται από 20 έως 1.200 τόνους, ενώ το συνολικό κόστος κυμαίνεται από 155.000 \$ έως 100.000.000 \$ περίπου.

Η Τρίτη βάση δεδομένων αφορά ατυχήματα στις Η.Π.Α. και περιέχει 83 περιστατικά (εδώ και πάλι αφαιρέθηκαν ατυχήματα με διαρροές μικρότερες του ενός τόνου) από το 1991 έως το 2009. Δεν περιέχει πληροφορίες για την αλιευτική δραστηριότητα, έχει όμως όλες τα υπόλοιπα απαραίτητα στοιχεία. Το συνολικό

κόστος το βρίσκει μέσω πολλαπλασιασμού του κόστους καθαρισμού επί συντελεστή TC/CC ίσο με 2,5 (αυτός χρησιμοποιήθηκε και για τα περιστατικά στην Ελλάδα).

4.2 Επιλογή παραμέτρων για τη κατασκευή του μοντέλου

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος των πετρελαιοκηλίδων είναι σύνθετοι και αλληλοεξαρτώμενοι. Κάθε περιστατικό κηλίδας που σημειώνεται, αποτελεί ένα μοναδικό γεγονός με ξεχωριστές συνθήκες, κάτω από τις οποίες λαμβάνει χώρα, και ξεχωριστά χαρακτηριστικά.

Μία προσέγγιση στο πρόβλημα της πρόβλεψης-εκτίμησης του κόστους είναι να βασιστούμε σε περιστατικά, που έχουν σημειωθεί στο παρελθόν, να αναλύσουμε τη συνεισφορά των διαφόρων χαρακτηριστικών του κάθε συμβάντος στη διαμόρφωση του κόστους και με βάση αυτά να αναπτύξουμε ένα μοντέλο ικανό να υπολογίζει το κόστος για υποθετικά ή και πραγματικά σενάρια κηλίδων. Στην προκειμένη περίπτωση τα στοιχεία που επεξεργαστήθηκαν, για την επίτευξη του στόχου της παρούσας εργασίας, προήλθαν και από τις τέσσερις βάσεις δεδομένων.

Όπως έχει αναφερθεί και αναλυθεί στο κεφάλαιο 1 υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν το συνολικό κόστος μιας διαρροής, όμως δεν είναι δυνατόν να γνωρίζει κανείς όλες τις παραμέτρους διαμόρφωσης του. Οι βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν έχουν περιορισμένα στοιχεία και με βάση αυτά υλοποιήθηκε και η παρακάτω επιλογή των μεταβλητών καθορισμού του συνολικού κόστους.

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Η αρχική επιλογή τους έγινε μέσω της βιβλιογραφίας [4], [6], [7], [12], [15] αποκλείοντας μεταβλητές για τις οποίες δεν έχουμε πληροφορίες. Από αυτές που απέμειναν έγινε χρήση στατιστικών τεστ για να αποδειχθεί η εξάρτηση ή μη του τελικού αποτελεσματος από την εκάστοτε μεταβλητή.

Οι μεταβλητές που εξετάστηκαν για τη σηματικότητα τους είναι οι εξής:

- Έτος πρόκλησης του ατυχήματος
- Χωρητικότητα πλοίου
- Θάλασσα που προκλήθηκε το ατύχημα
- Εποχή του χρόνου που προκλήθηκε το ατύχημα
- Σημαία
- Είδος ατυχήματος
- Απόσταση από την ακτή
- Αποζημίωση ατόμων που σχετίζονται με την αλιευτική δραστηριότητα
- Μέγεθος κηλίδας

Για την εξέταση της σημαντικότητας των μεταβλητών χρησιμοποιήθηκαν τα τεστ από το βιβλίο του Kanji «100 Statistical Tests» [19] που αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε 1 τεστ:

- Τεστ 52: Εξετάζει εάν δύο τυχάια δείγματα πέρχονται από δύο πληθυσμούς με ίδια μέση τιμή.

$$R_1 = n*(N+1) - R$$

R = το άθροισμα του βαθμού του μικρότερου δειγματος όταν αυτα τοποθετηθούν μαζί σε αύξουσα σειρά δίνοντας τους βαθμό από το 1 έως το

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

N , N = άθροισμα του μεγέθους και των δύο δειγμάτων, n = μέγεθος του μικρότερου δείγματος

Αν η κρίσιμη τιμή που αντλείται από κατάλληλο πίνακα είναι μεγαλύτερη είτε από το R είτε από το $R1$, τότε οι πληθυσμοί δεν έχουν ίδια μέση τιμή. Αυτό πολύ απλά σημαίνει ότι, τα δύο δείγματα διαφέρουν μεταξύ τους και το είδος αυτών είναι ικανό να αποτελέσει μία μεταβλητή για το μοντέλο που θα κατασκευασθεί. Οι μεταβλητές που τελικώς θα απαρτίσουν το εν λόγω μοντέλο είναι:

1. Μέγεθος κηλίδας
2. Είδος ατυχήματος
3. Απόσταση από την ακτή
4. Θάλασσα που προκλήθηκε το ατύχημα
5. Αποζημίωση ατόμων που σχετίζονται με την αλιευτική δραστηριότητα

Οι παραπάνω μεταβλητές έχουν αναλυθεί και περιγραφεί στο κεφάλαιο 1. Έχοντας πια όλες τις απαραίτητες πληροφορίες από τη βάση δεδομένων αλλά και τις σημαντικές μεταβλητές που καθορίζουν το τελικό κόστος το μόνο που απομένει είναι η κατασκευή αυτού του μοντέλου.

4.3 Δομή του μοντέλου εκτίμησης του συνολικού κόστους κηλίδας

Για τη κατασκευή του μοντέλου εκτίμησης, όπως έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο 1, έχει επιλεγθεί η μορφή του να βασιστεί σε δέντρα ταξινόμησης. Πρόκειται για μια μη παραμετρική μεθοδολογία για θέματα ταξινόμησης, από

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

κατηγοριοποιημένες εξαρτώμενες μεταβλητές. Κύριος στόχος της είναι να δώσει ένα ακριβές σύνολο απο κατανεμημένα – τακτοποιημένα δεδομένα . Βοηθάει στην κατανόηση των μεταβλητών ή των αλληλεπιδράσεων των μεταβλητών οι οποίες είναι υπεύθυνες για ένα συγκεκριμένο φαινόμενο το οποίο παρατηρείται. Σε αυτό ο αρχικός κόμβος χωρίζεται σε δύο ή περισσότερα μέρη ανάλογα τις κατηγορίες της κάθε μεταβλητής. Αυτό επαναλαμβάνεται τόσες φορές όσες ο αριθμός των μεταβλητών που θα χρησιμοποιηθούν.

Επόμενο βήμα λοιπόν είναι να χωρίσουμε σε κατηγορίες τη κάθε μεταβλητή εκτός από τη ποσότητα της κηλίδας αφού αυτή είναι μεταβλητή για την οποία χρειαζόμαστε την ακριβή τιμή για να εκτιμήσουμε το κόστος.

Για την απόσταση από την ακτή έχουμε ήδη χωρίσει σε δύο κατηγορίες τα περιστατικά με γνώμονα, όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 1, τα δέκα ναυτικά μίλια. Δηλαδή, όποιο ατύχημα έχει απόσταση από την κοντινότερη ακτή μεγαλύτερη των 10 μιλίων θεωρείται ως μη παράκτιο (non coastal) ατύχημα και όποιο έχει μικρότερη θεωρείται παράκτιο (coastal).

Για το είδος ατυχήματος έχουν επιλεγεί 4 μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το ποσοστό του κάθε είδους επί του συνόλου των ατυχημάτων, αλλά και ανάλογα τη διαφορετική διαμόρφωση του κόστους που προκαλούν, πράγμα που έχει επισημανθεί στο πρώτο κεφάλαιο [5], [12], [17]. Οι τέσσερις κατηγορίες είναι η βύθιση του πλοίου (sinking) η οποία περιλαμβάνει και περιπτώσεις που το πλοίο σπάει σε δύο ή περισσότερα κομμάτια, η προσάραξη (grounding), η σύγκρουση (collision) και τα λοιπά είδη ατυχήματος (other), στα οποία περιλαμβάνονται η εκφόρτωση, η κακή διαχείριση του φορτίου, η φωτιά, η υπερχειλίση, η διάβρωση κ.α.

Για τη θάλασσα στην οποία συνέβη το ατύχημα έχουν επιλεγεί 3 κατηγορίες οι οποίες διαμορφώνουν διαφορετικό συνολικό κόστος, όπως αναφέρθηκε και στο

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

πρώτο κεφάλαιο [4], [16]. Αυτές είναι ο Ειρηνικός και Ινδικός ωκεανός (Pacific-Indian oceans), ο Ατλαντικός και η Βόρεια Θάλασσα (Atlantic ocean-North sea) και οι κλειστές θάλασσες της Μεσογείου και της Βαλτικής (Mediterranean –Baltic Sea). Η επιλογή τους σε αυτά τα ζευγάρια έγινε διότι οι πρώτοι δύο συνδυασμοί ανά δύο συνορεύουν και έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά, καιρικά φαινόμενα, γεωμορφία. Σίγουρα έχουν και αρκετές διαφορές, όμως από το πρώτο κεφάλαιο σημαντικό κοινό τους σημείο είναι πως τα κράτη που βρέχονται από αυτές τις ευρύτερες θαλάσσιες περιοχές έχουν παρόμοια συλλογιστική και αντίληψη, άρα και νομοθεσία και εφαρμογή αυτής, καθώς και επίπεδο και αποτελεσματικότητα εξοπλισμού. Τέλος, η Μεσογείος και η Βαλτική επιλέχθηκαν ως ζευγάρι αφού αποτελούν και οι δύο ρηχές και κλειστές θάλασσες και έχουν και αυτές κράτη με αντίστοιχες αντιλήψεις (παρόμοιες σε πολύ αναπτυγμένα κράτη όπως Νορβηγία, Σουηδία με κράτη όπως Γαλλία, Ισπανία αλλά και παρόμοιες σε λιγότερο πλούσια κράτη όπως Λετονία, Λιθουανία με κράτη όπως αυτά της Βόρειας Αφρικής).

Η επιρροή της αλιευτικής δραστηριότητας από κηλίδες έχει χωριστεί σε δύο κατηγορίες οι οποίες είναι η ύπαρξη (fishery) και η μη ύπαρξη της (no fishery) στη διαμόρφωση του συνολικού κόστους.

Για το μέγεθος της κηλίδας έχει επιλεγθεί να μην κατηγοριοποιείται αλλά να παραμείνει ποσοτική μεταβλητή την οποία θα δέχεται το μοντέλο μέσω γλώσσας προγραμματισμού και θα ανατρέχει στο διάγραμμα που αντιστοιχεί κάθε συνδυασμός μεταβλητών, όπου και θα βρίσκει το συνολικό κόστος ανάλογα τη ποσότητα.

Με βάση τα παραπάνω η μορφή των μεταβλητών θα είναι:

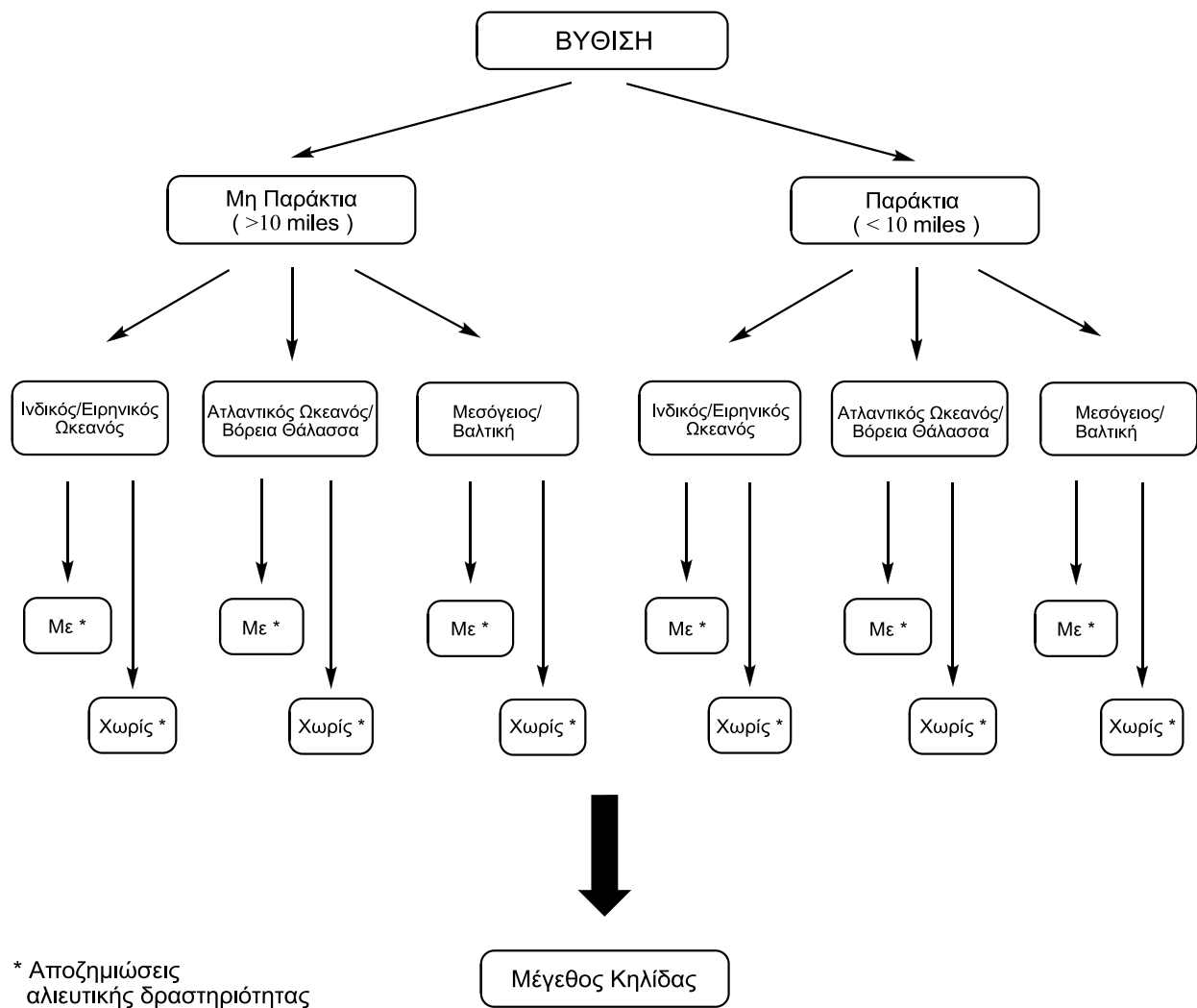
- Είδος ατυχήματος (type of accident)
 1. Βύθιση (sinking)
 2. Προσάραξη (grounding)

Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

3. Συγκρουση (collision)
 4. Λοιπά (other)
- Απόσταση από την ακτή (distance from coast)
 1. Μη παράκτια (non coastal)
 2. Παράκτια (coastal)
 - Περιοχή (location)
 1. Ειρηνικός – Ινδικό ωκεανός (pacific – Indian ocean)
 2. Ατλαντικός ωκεανός – Βόρεια θάλασσα (Atlantic ocean – North sea)
 3. Μεσόγειος – Βαλτική (Mediterranean – Baltic)
 - Αλιευτική δραστηριότητα (fishery)
 1. Ναι (yes)
 2. Όχι (no)

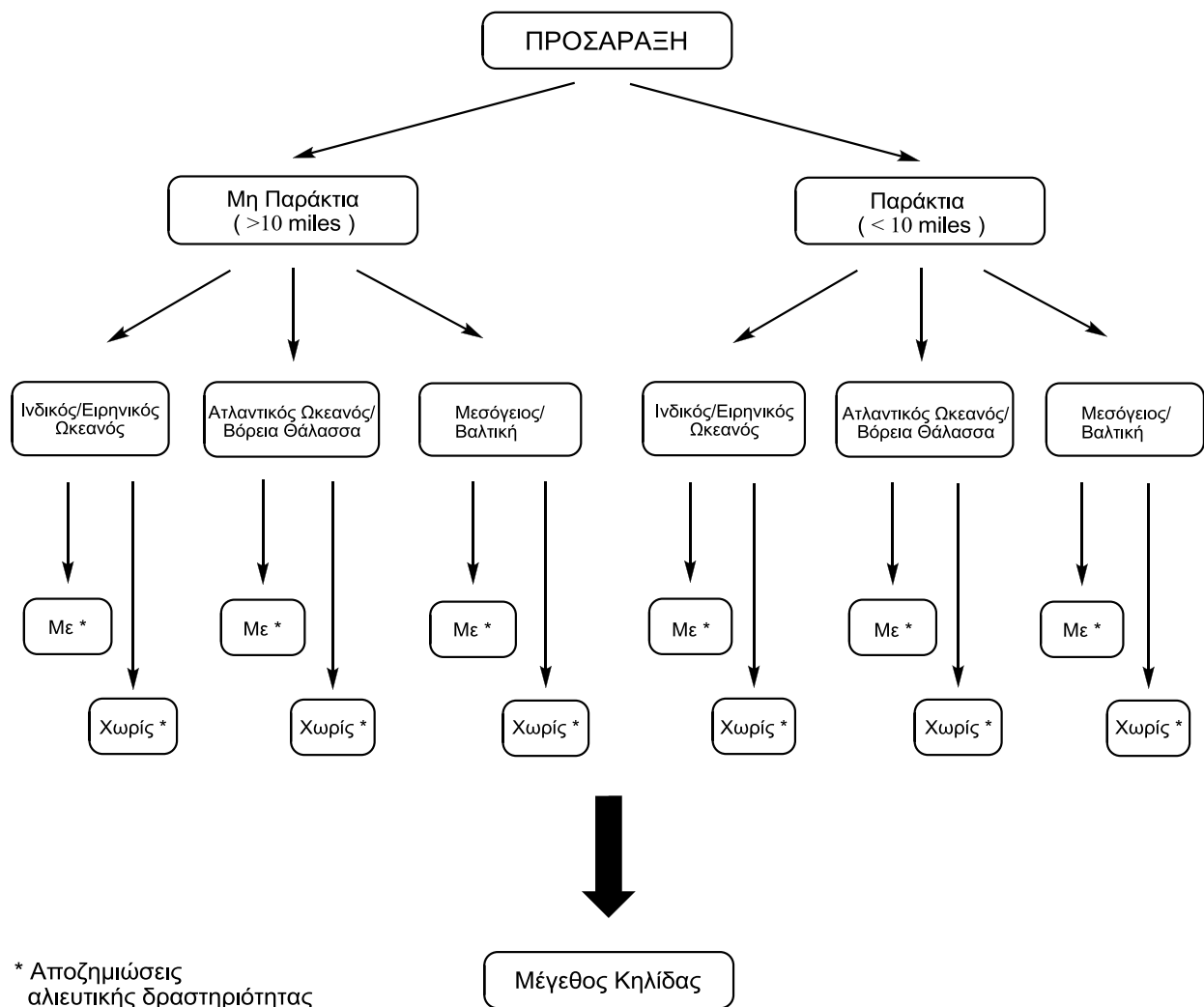
Έχοντας πια όλες τις μεταβλητές και τις κατηγορίες που θα απαρτίσουν το μοντέλο, παρατίθενται, για τη καλύτερη κατανόηση τους, τα δέντρα ταξινόμησης. Το δέντρο ξεκινά με την επιλογή του είδους ατυχήματος και ανάλογα τις συνθήκες ακολουθούν και αντίστοιχες διακλαδώσεις. Για την καλύτερη απεικόνιση ολόκληρου του δέντρου χρειάστηκαν 4 σχήματα:

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία



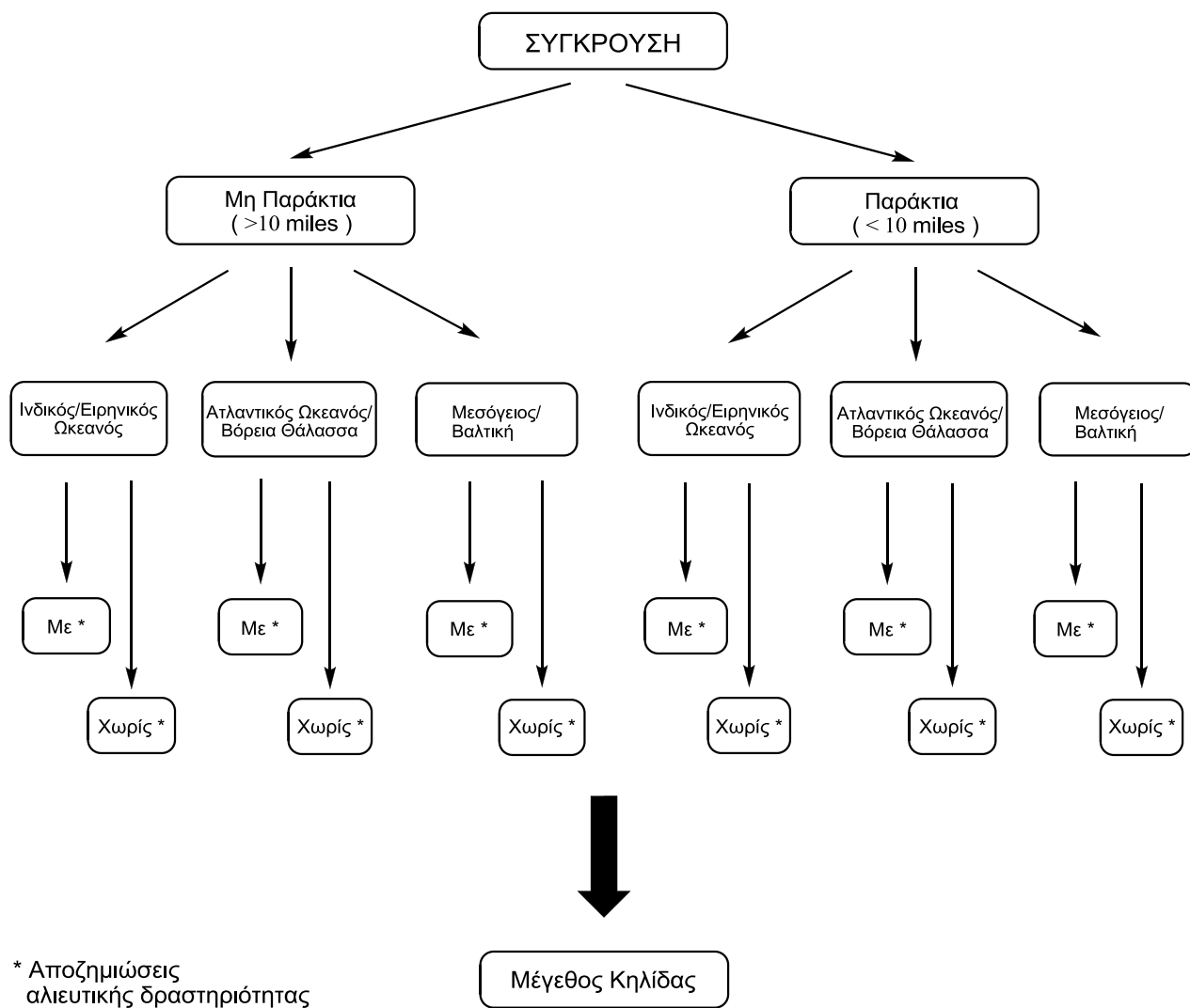
Σχήμα 29: Δέντρο ταξινόμησης σε περίπτωση ατυχήματος βύθισης

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία



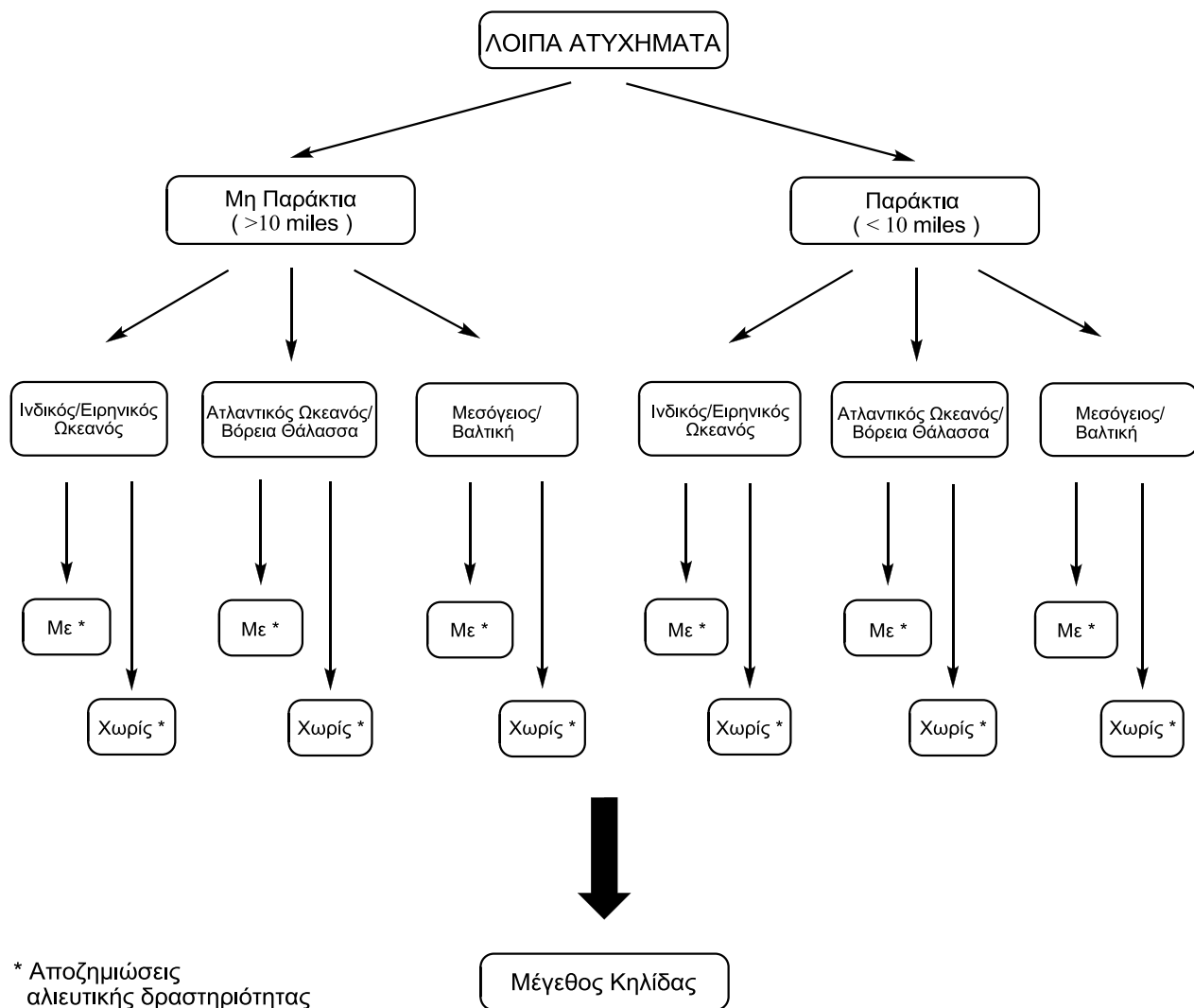
Σχήμα 30: Δέντρο ταξινόμησης σε περίπτωση ατυχήματος προσάραξης

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία



Σχήμα 31: Δέντρο ταξινόμησης σε περίπτωση ατυχήματος σύγκρουσης

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία



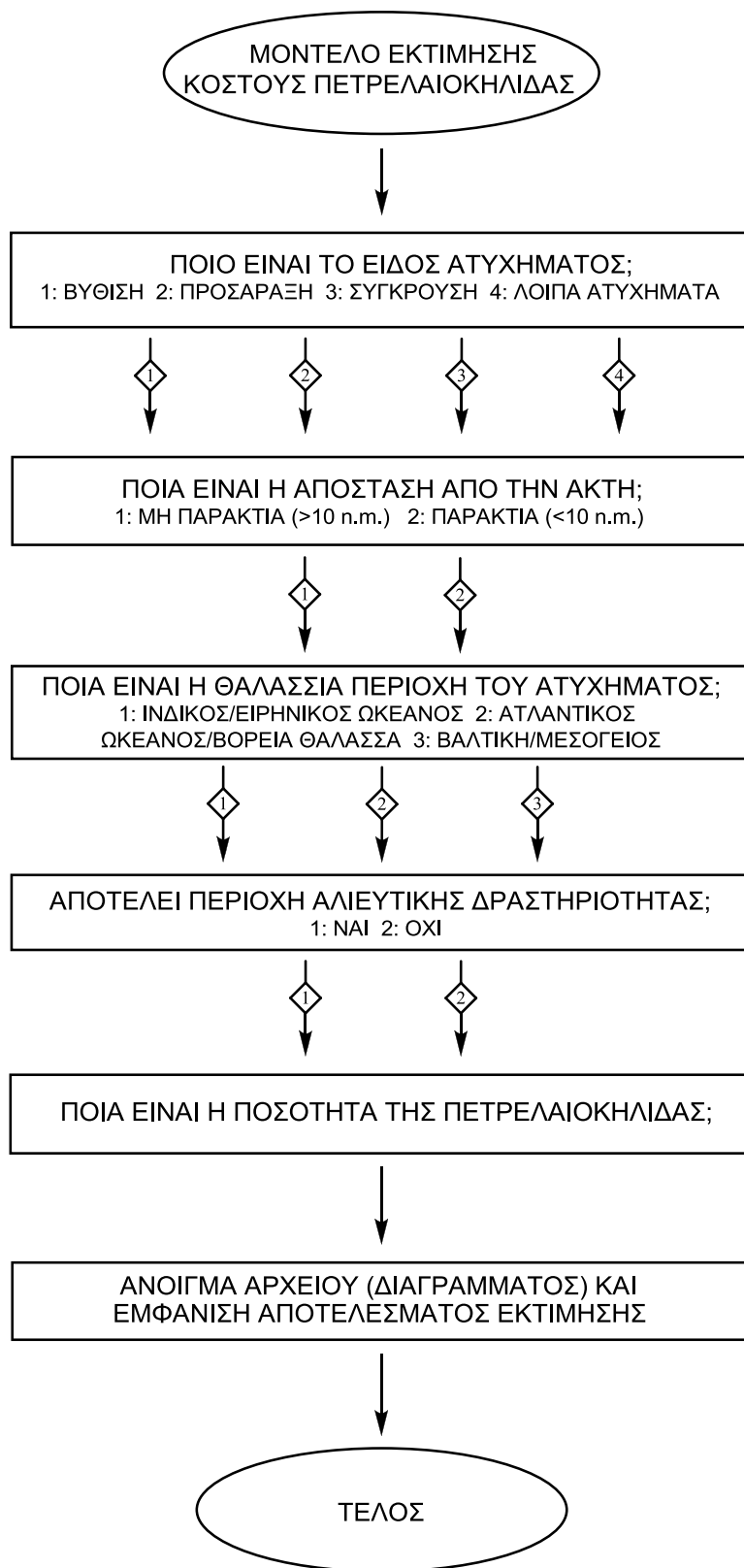
Σχήμα 32: Δέντρο ταξινόμησης σε περίπτωση λοιπών ατυχημάτων

Από τις παραπάνω εικόνες γίνεται εμφανές ότι υπάρχουν 48 διακλαδώσεις από τις οποίες όμως αρκετά λιγότερες είναι εφικτές αφού κάποιοι συνδυασμοί δεν είναι δυνατοί (π.χ. προσάραξη σε απόσταση μεγαλύτερη των 10 μιλίων από την κοντινότερη ακτή).

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Για τη κατασκευή του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε ένα περιβάλλον αριθμητικής υπολογιστικής ή αλλιώς μία προγραμματιστική γλώσσα. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα της MATLAB (*matrix laboratory*). Η δομή του ξεκινά με εισαγωγή (input) των αρχείων excel που κατασκευάστηκαν για το σκοπό αυτό και περιέχουν τα ατυχήματα και τα διαγράμματα αυτών ανάλογα το συνδυασμό των μεταβλητών που θα επιλεγθούν. Στη συνέχεια ακολουθούν εντολές – συνθήκες, στις οποίες επιλέγονται οι κατηγορίες των μεταβλητών (εντολή if) ή επαναλαμβάνονται οι διαδικασίες σε περίπτωση λάθους επιλογής (εντολή while). Στο τέλος, όταν το αποτέλεσμα περιέχει από 5 και πάνω ατυχήματα που αντιστοιχούν στις επιλεγθείσες κατηγορίες μεταβλητών, εμφανίζει το αντίστοιχο διάγραμμα και την τιμή του συνολικού κόστους που εκτιμάται υπό αυτές τις συνθήκες. Ακολουθεί ένα ενδεικτικό διάγραμμα ροής:

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία



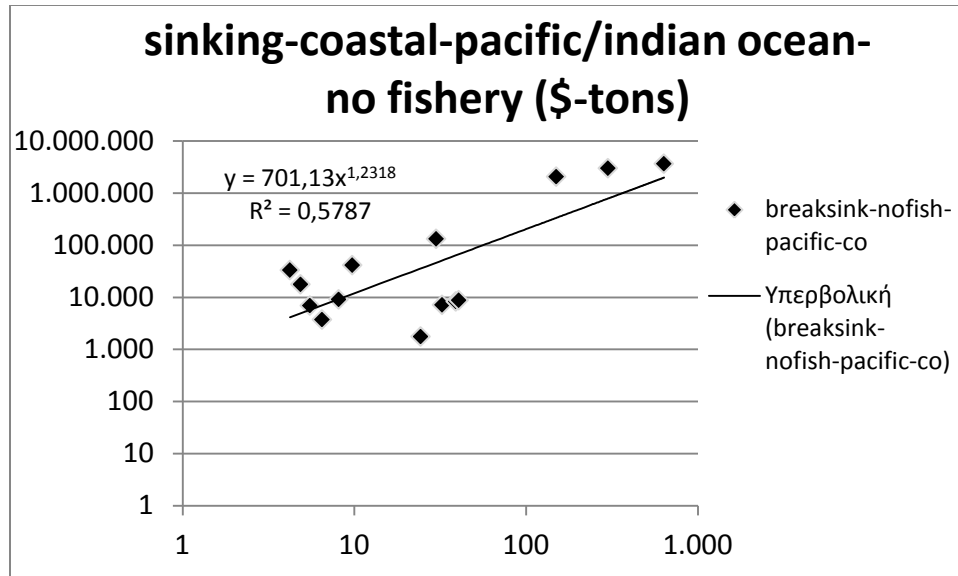
Σχήμα 33: Διάγραμμα ροής του μοντέλου εκτίμησης

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

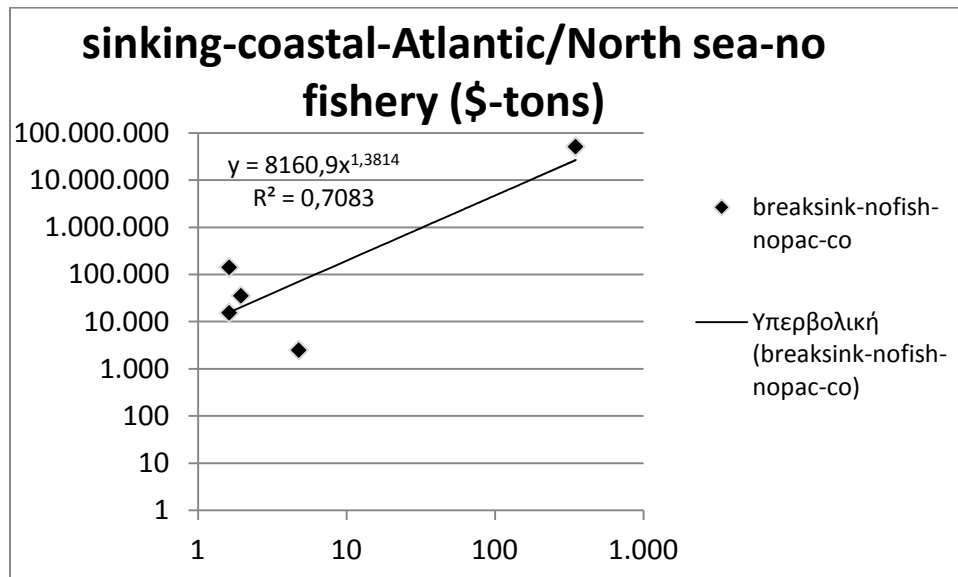
Ο χρήστης του μοντέλου, ανάλογα τον αριθμητικό συνδυασμό και τη ποσότητα που θα επιλέξει θα λάβει το αντίστοιχο αποτέλεσμα, το οποίο όπως προαναφέρθηκε εμφανίζει την τιμή αλλά και την κατανομή που αντιστοιχεί σε ατυχήματα με τις ίδιες συνθήκες αλλά με διαφορετική ποσότητα διαρροής.

4.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων του μοντέλου εκτίμησης του κόστους πετρελαιοκηλίδων από πλοία

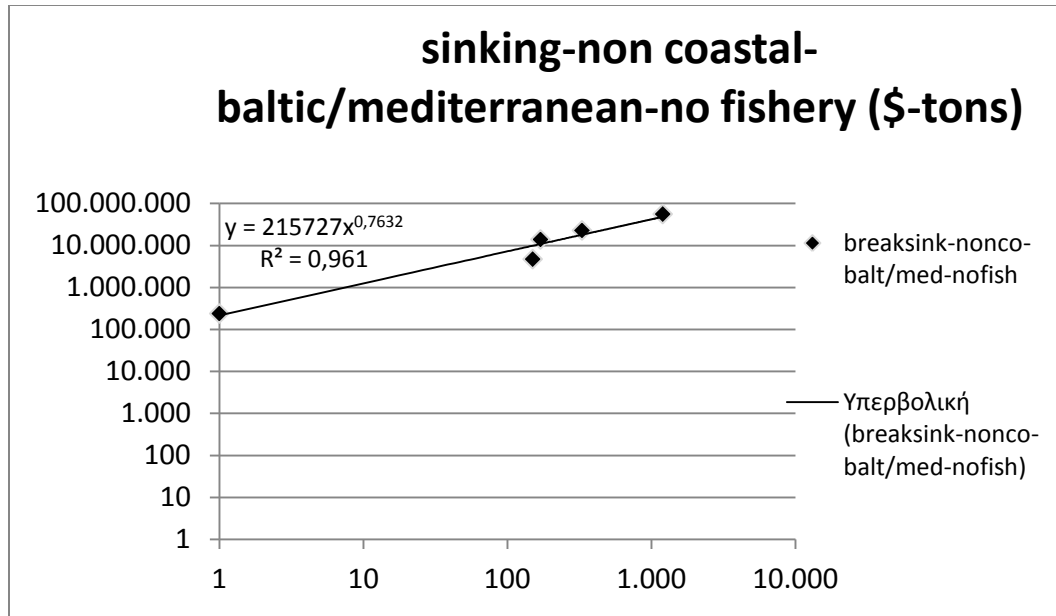
Τα αποτελέσματα του κόστους βγαίνουν ανάλογα τη τιμή της ποσότητας που θα επιλεγεί και γι' αυτό δεν είναι δυνατόν να παρατεθούν παρά μόνο στο ίδιο το μοντέλο. Αξίζει να σημειωθεί εκ νέου ότι πληροφορίες σχετικά με την αλιευτική δραστηριότητα υπάρχουν μόνο σε ατυχήματα του IOPCF και της ελληνικής βάσης δεδομένων και γι' αυτό συνδυασμοί μεταβλητών που δεν αναφέρουν τέτοιες αποζημιώσεις ενδέχεται κάποια από τα ατυχήματά τους να έχουν. Αξιοποιώντας όλες τις κατηγορίες των μεταβλητών που αναφέρθηκαν προέκυψε εφικτό (μεγαλύτερο από 5 παρατηρήσεις) αποτέλεσμα στους συνδυασμούς που ακολουθούν στις παρακάτω κατανομές:



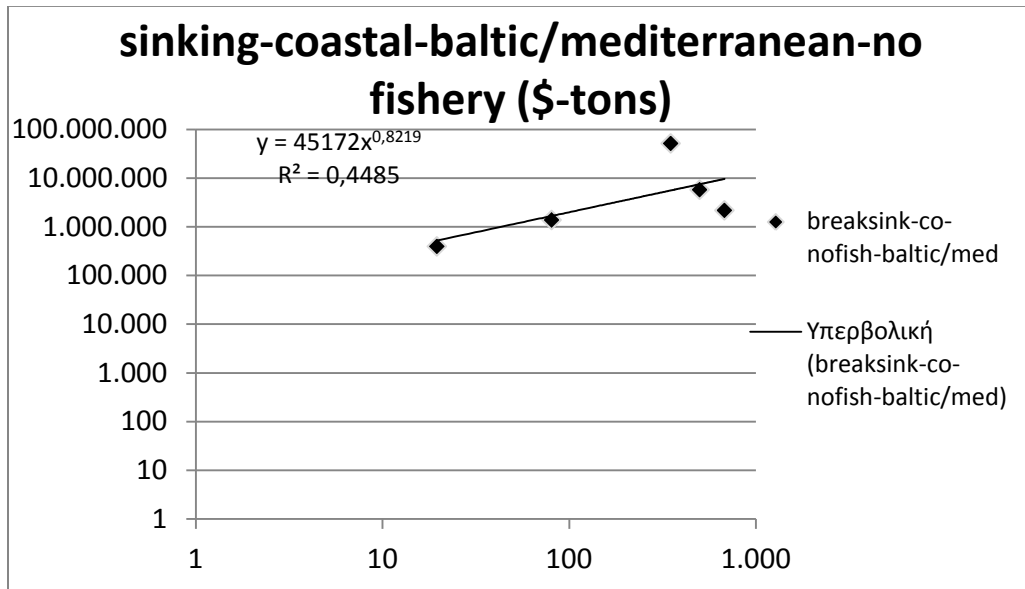
Σχήμα 34: Βύθιση-παράκτια-Ειρηνικός/Ινδικός ωκεανός-Χωρίς αλιευτική δραστηριότητα



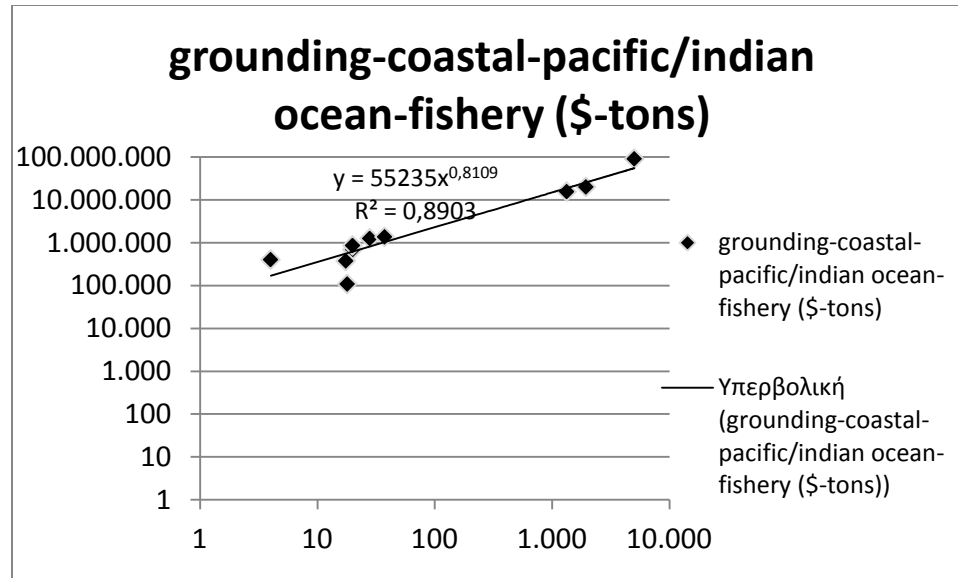
Σχήμα 35: Βύθιση-παράκτια-Ατλαντικός/Βόρεια θάλασσα-Χωρίς αλιευτική δραστηριότητα



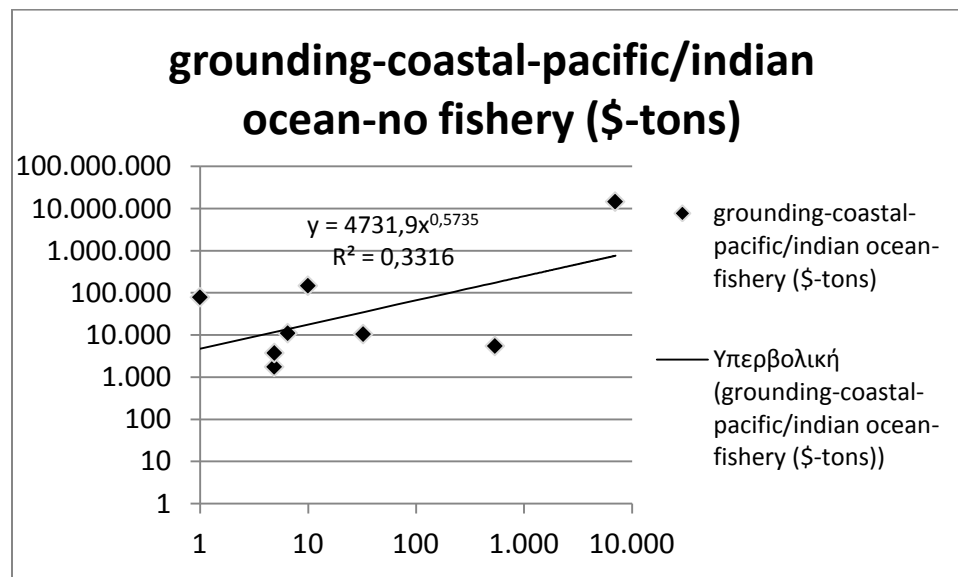
Σχήμα 36: Βύθιση-μη παράκτια-Μεσόγειος/Βαλτική-Χωρίς αλιευτική δραστηριότητα



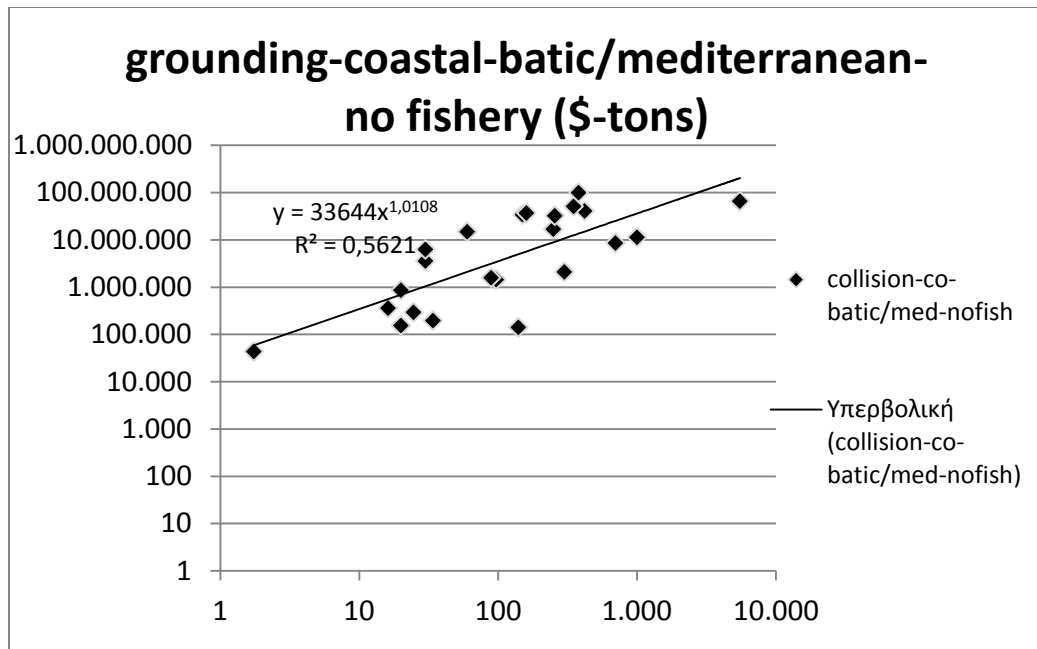
Σχήμα 37: Βύθιση-παράκτια-Μεσόγειος/Βαλτική-Χωρίς αλιευτική δραστηριότητα



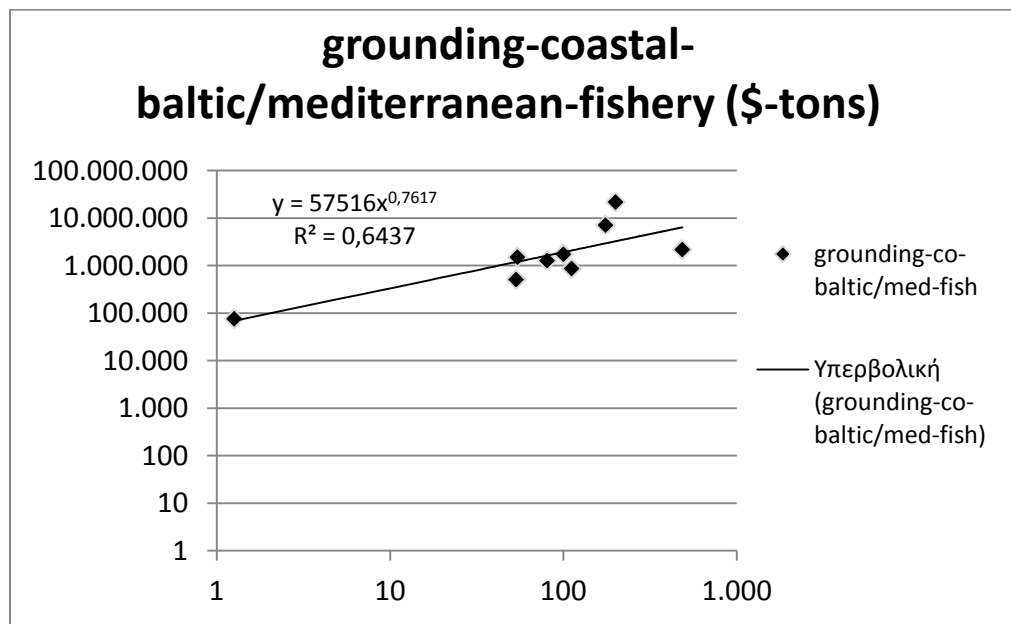
Σχήμα 38: Προσάραξη-παράκτια- Ειρηνικός/Ινδικός ωκεανός-Με αλιευτική δραστηριότητα



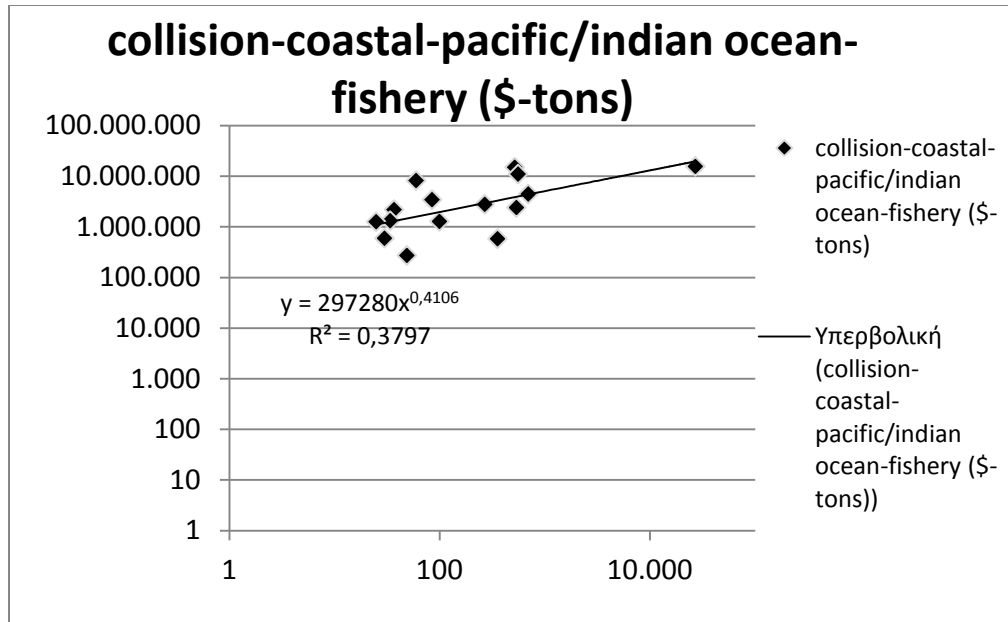
Σχήμα 39: Προσάραξη -παράκτια- Ειρηνικός/Ινδικός ωκεανός-Χωρίς αλιευτική δραστηριότητα



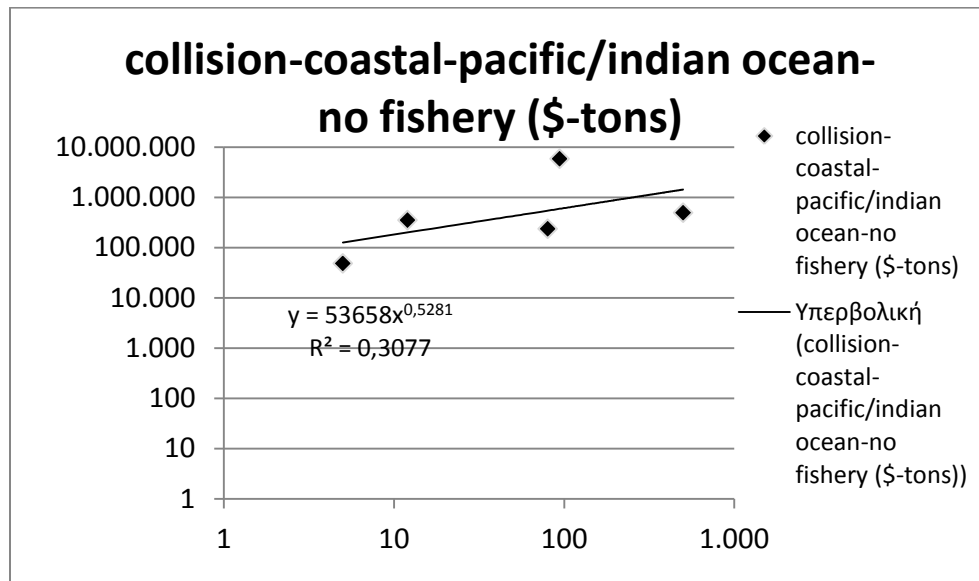
Σχήμα 40: Προσάραξη-παράκτια-Μεσόγειος/Βαλτική-Χωρίς αλιευτική δραστηριότητα



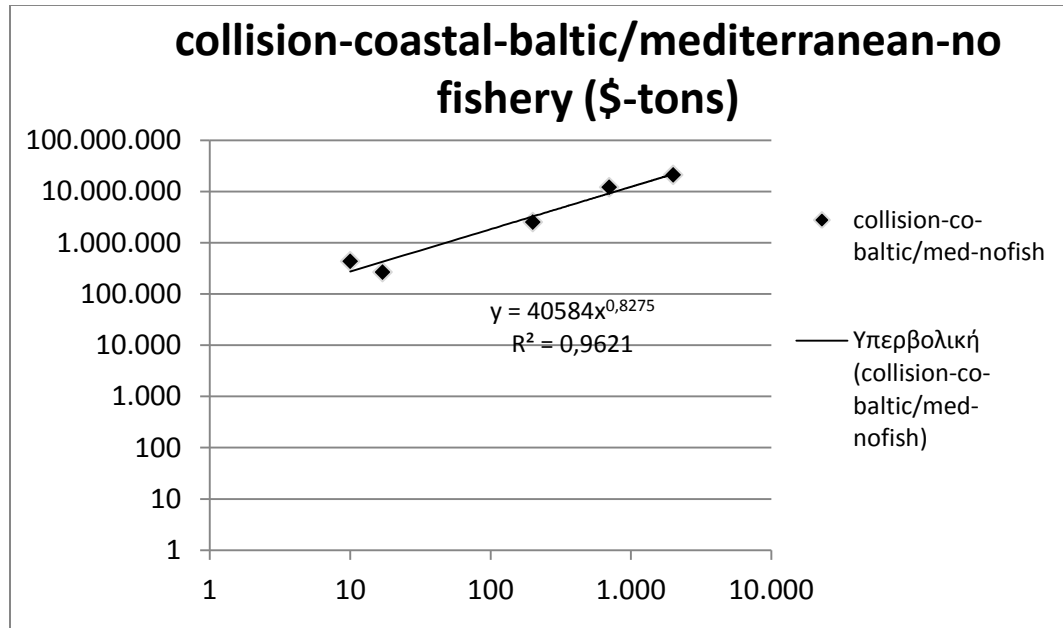
Σχήμα 41: Προσάραξη-παράκτια-Μεσόγειος/Βαλτική-Με αλιευτική δραστηριότητα



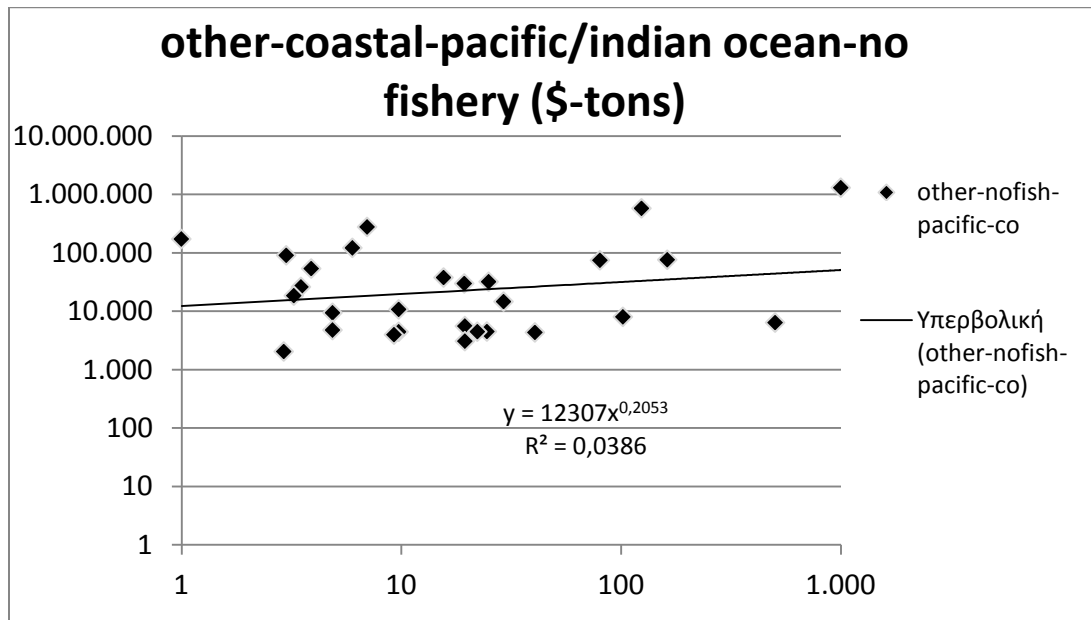
Σχήμα 42: Σύγκρουση-παράκτια- Ειρηνικός/Ινδικός ωκεανός –Με αλιευτική δραστηριότητα



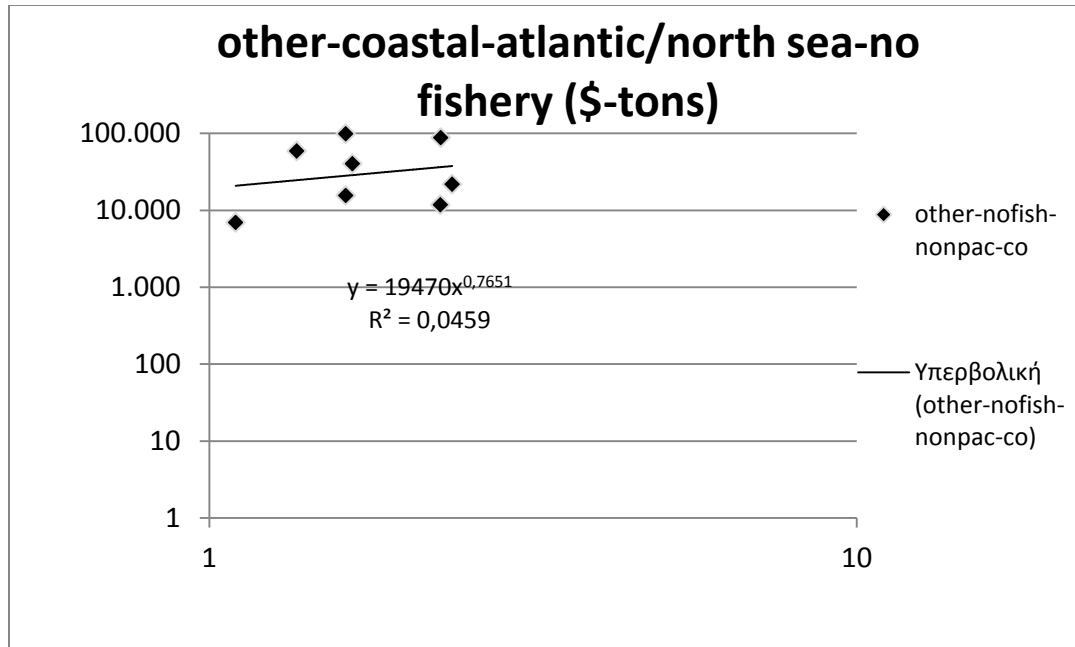
Σχήμα 43: Σύγκρουση-παράκτια- Ειρηνικός/Ινδικός ωκεανός –Χωρίς αλιευτική δραστηριότητα



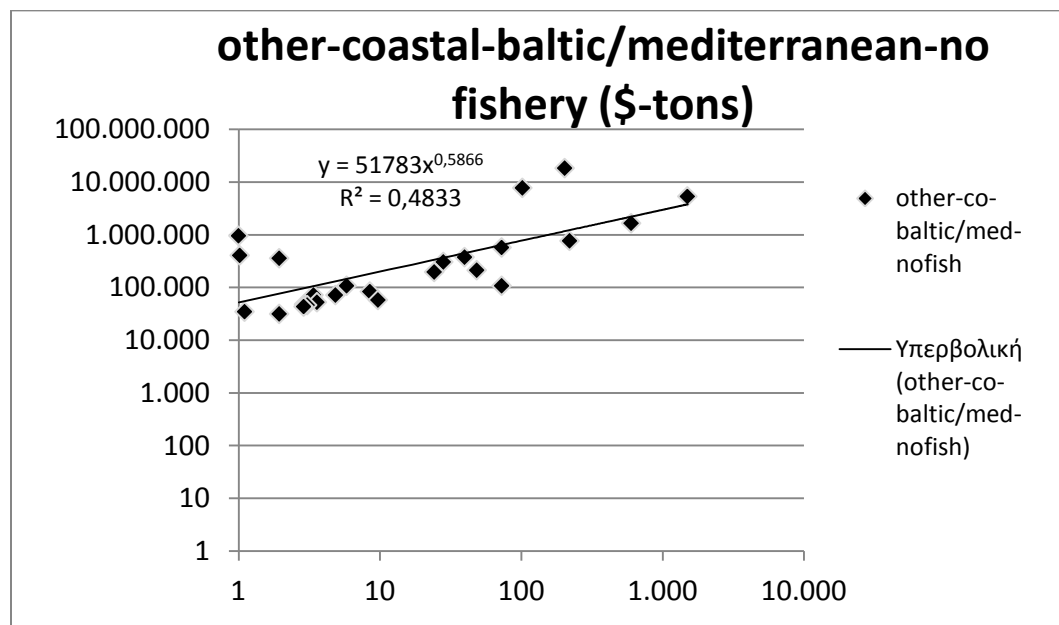
Σχήμα 44: Σύγκρουση-παράκτια- Μεσόγειος/Βαλτική-Χωρίς αλιευτική δραστηριότητα



Σχήμα 45: Λοιπά ατυχήματα-παράκτια- Ειρηνικός/Ινδικός ωκεανός-Χωρίς αλιευτική δραστηριότητα



Σχήμα 46: Λοιπά ατυχήματα-παράκτια- Ατλαντικός/Βόρεια θάλασσα— Χωρίς αλιευτική δραστηριότητα

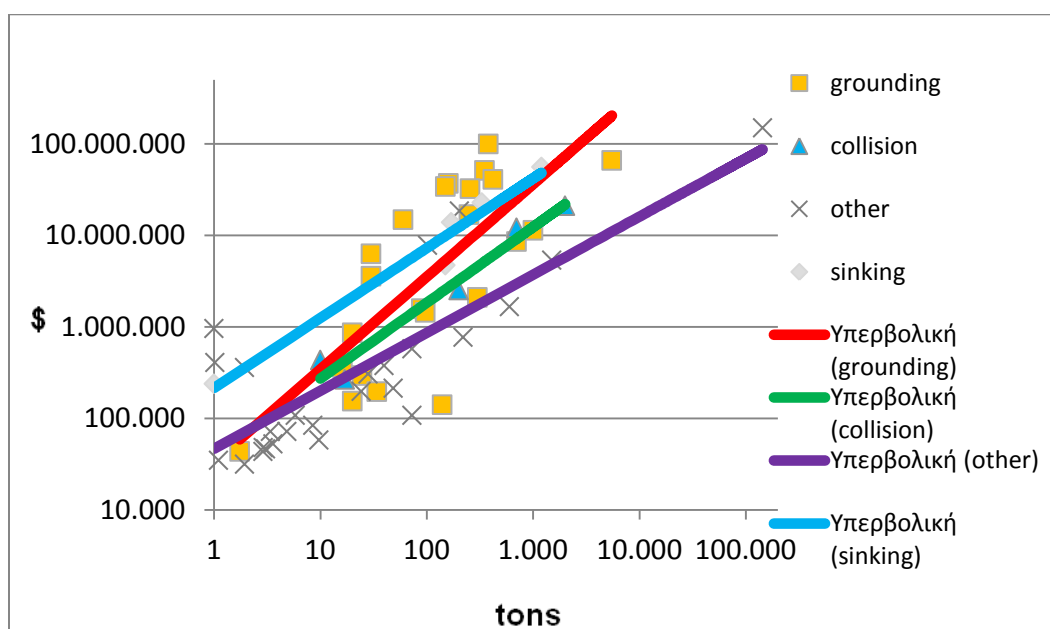


Σχήμα 47: Λοιπά ατυχήματα-παράκτια- Μεσόγειος/Βαλτική—Χωρίς αλιευτική δραστηριότητα

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

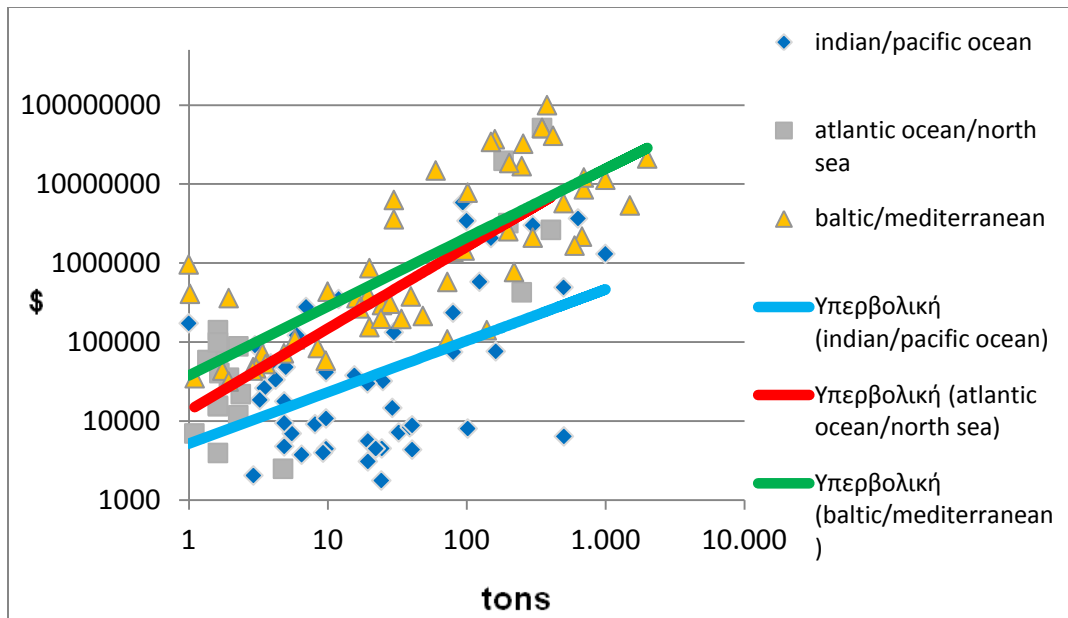
Αξίζει να σημειωθεί ότι στα σχήματα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος απομακρυσμένων παρατηρήσεων (outlier analysis). Τα περισσότερα σχήματα έμειναν αναλλοίωτα, εκτός από τα σχήματα 41, 42, 45, 46, 47 όπου και άλλαξε ελαφρώς η κατανομή.

Έχοντας πια όλες τις τελικές κατανομές μπορούμε να μελετήσουμε και να συγκρίνουμε τις συναρτήσεις τους. Τα σχήματα που ακολουθούν δεν δημιουργήθηκαν μέσω των αποτελεσμάτων του μοντέλου, όμως μετά τη κατασκευή του δημιουργήθηκε η ανάγκη να παρουσιαστούν οι διαφορετικές διαμορφώσεις του κόστους συγκρίνοντας της κατηγορίες των μεταβλητών μεταξύ τους:

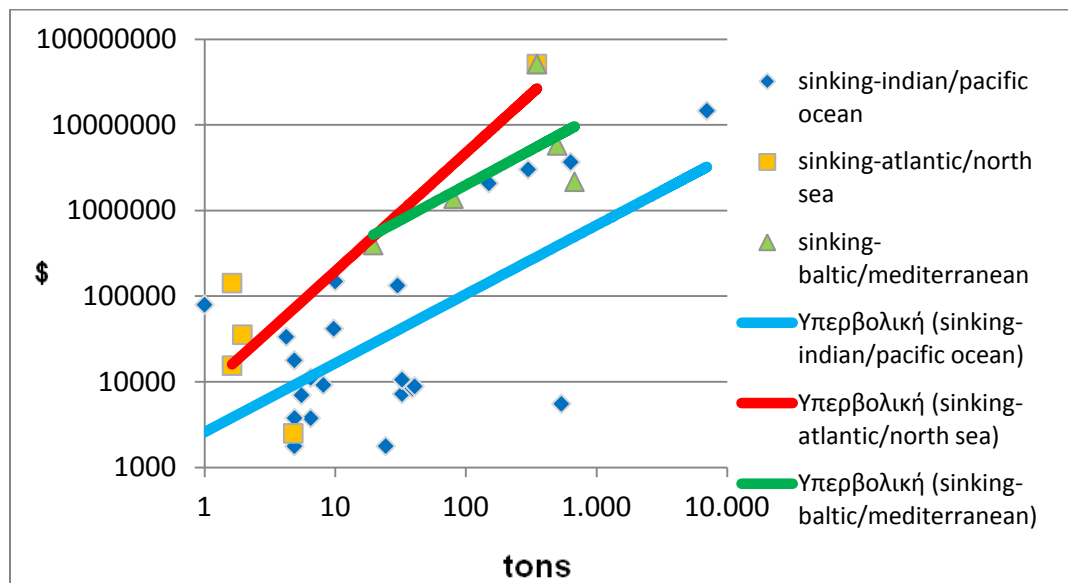


Σχήμα 48: Συγκριτική κατανομή ανά είδος ατυχήματος

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

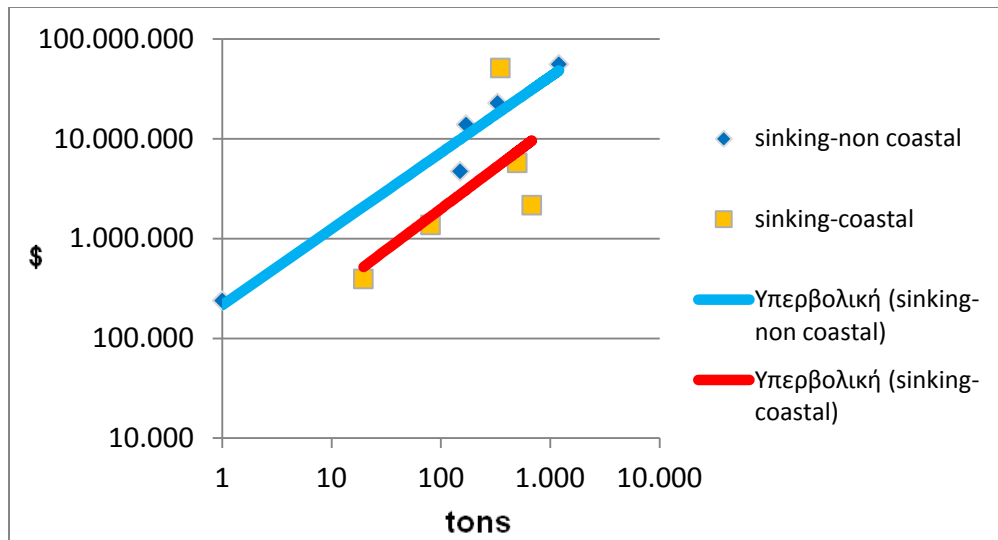


Σχήμα 49: Συγκριτική κατανομή ανά είδος θαλάσσιας περιοχής

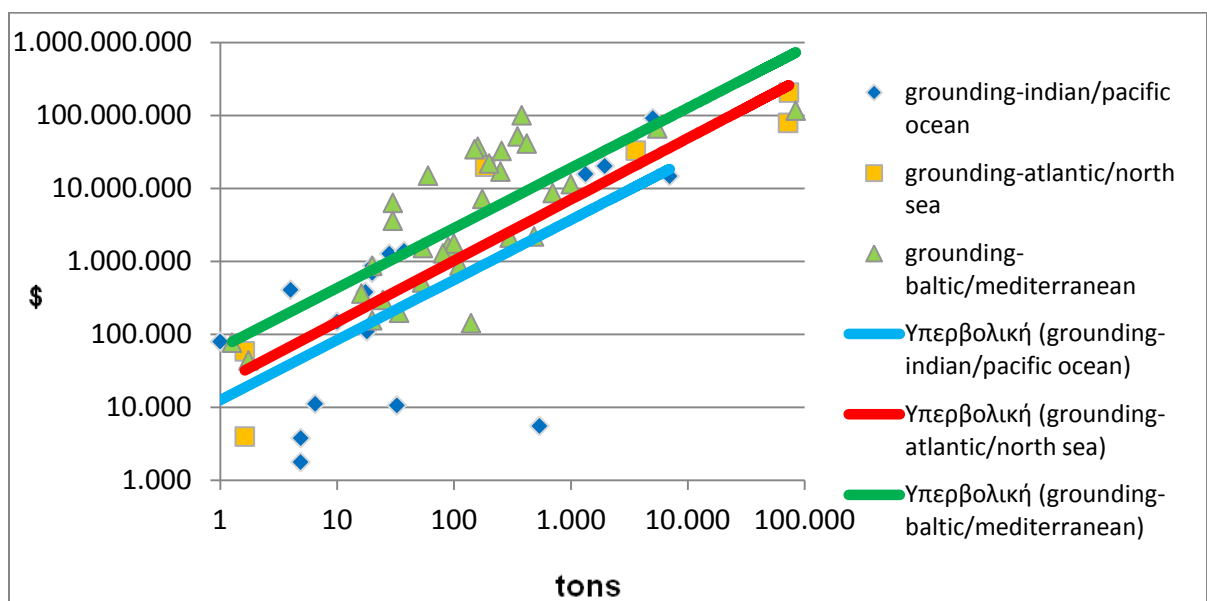


Σχήμα 50: Συγκριτική κατανομή περιστατικών βύθισης ανά είδος θαλάσσιας περιοχής

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

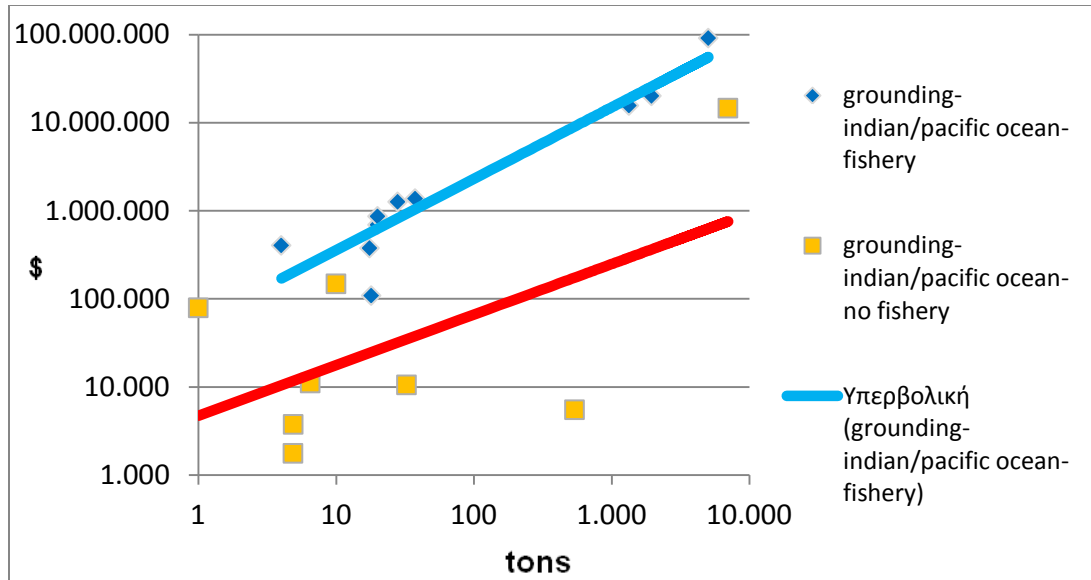


Σχήμα 51: Συγκριτική κατανομή περιστατικών βύθισης παράκτιων – μη παράκτιων ατυχημάτων

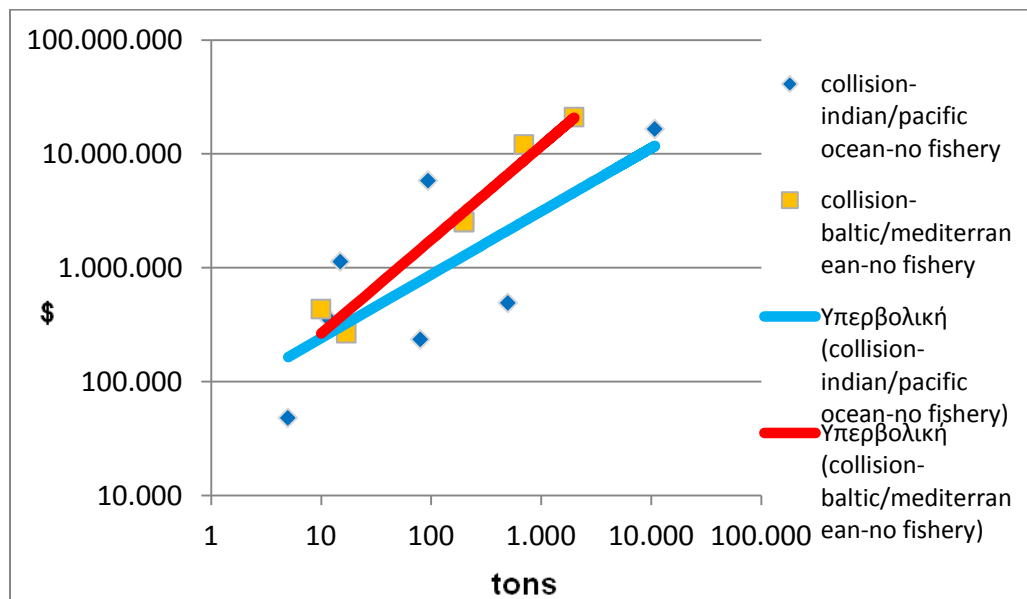


Σχήμα 52: Συγκριτική κατανομή περιστατικών προσάραξης ανά θαλάσσια περιοχή ατυχήματος

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

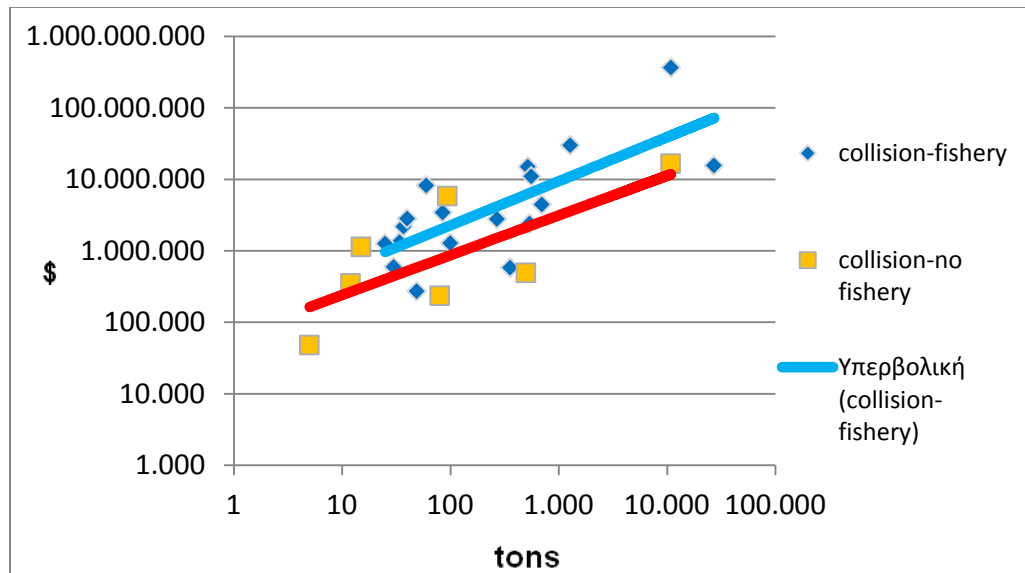


Σχήμα 53: Συγκριτική κατανομή περιστατικών προσάραξης ανάλογα με την επιρροή ή μη της αλιευτικής δραστηριότητας

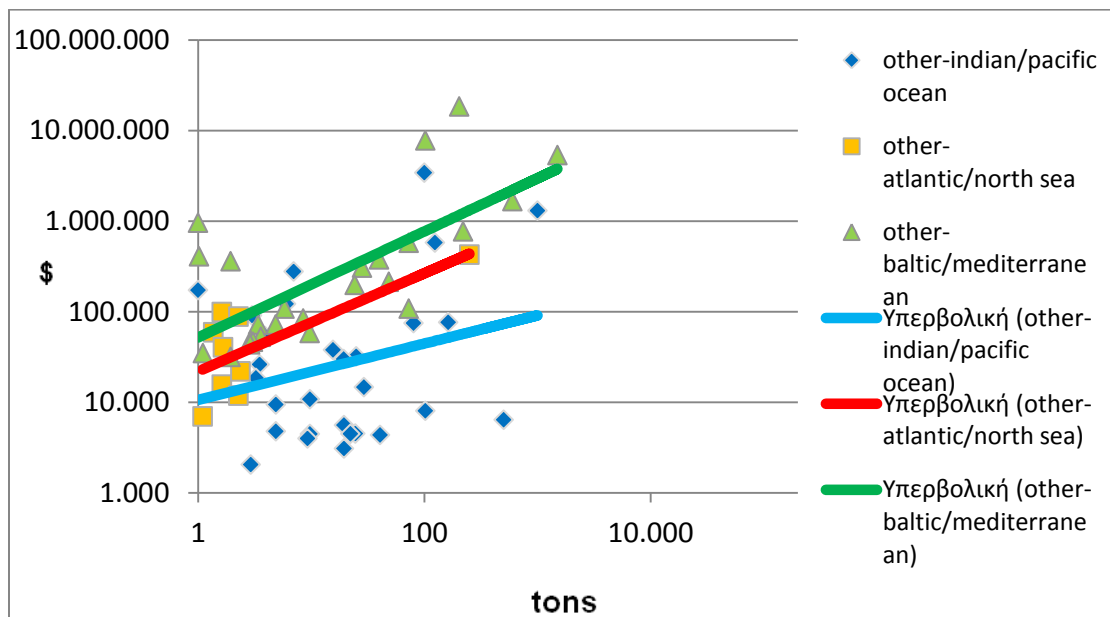


Σχήμα 54: Συγκριτική κατανομή περιστατικών σύγκρουσης ανά θαλάσσια περιοχή ατυχήματος

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία



Σχήμα 55: Συγκριτική κατανομή περιστατικών σύγκρουσης ανάλογα με την επιρροή ή μη της αλιευτικής δραστηριότητας



Σχήμα 56: Συγκριτική κατανομή λοιπών ατυχημάτων ανά θαλάσσια περιοχή ατυχήματος

Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Συνδυασμός μεταβλητών	Αριθμός ατυχημάτων	Συνάρτηση
Βύθιση - Σπάσιμο		
Βύθιση/σπάσιμο- παράκτια- Ειρηνικός/Ινδικός ωκεανός-Όχι	13	$y = 701,13x^{1,2318}$
Βύθιση/σπάσιμο- παράκτια- Ατλαντικός/Βόρεια θάλασσα-Όχι	5	$y = 8160,9x^{1,3814}$
Βύθιση/σπάσιμο-μη παράκτια- Μεσόγειος/Βαλτική-Όχι	5	$y = 215727x^{0,7632}$
Βύθιση-παράκτια- Μεσόγειος/Βαλτική-Όχι	5	$y = 45172x^{0,8219}$
Προσάραξη		
Προσάραξη-παράκτια- Ειρηνικός/Ινδικός ωκεανός-Ναι	9	$y = 55235x^{0,8109}$
Προσάραξη -παράκτια- Ειρηνικός/Ινδικός ωκεανός-Όχι	8	$y = 4731,9x^{0,5735}$
Προσάραξη-παράκτια- Μεσόγειος/Βαλτική-Όχι	21	$y = 33644x^{1,0108}$
Προσάραξη-παράκτια- Μεσόγειος/Βαλτική-Ναι	10	$y = 57516x^{0,7617}$

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Σύγκρουση		
Σύγκρουση-παράκτια- Ειρηνικός/Ινδικός ωκεανός –Ναι	16	$y = 297280x^{0,4106}$
Σύγκρουση-παράκτια- Ειρηνικός/Ινδικός ωκεανός –Όχι	5	$y = 53658x^{0,5281}$
Σύγκρουση- παράκτια- Μεσόγειος/Βαλτική–Όχι	5	$y = 40584x^{0,8275}$
Λοιπά ατυχήματα		
Λοιπά ατυχήματα- παράκτια- Ειρηνικός/Ινδικός ωκεανός–Όχι	29	$y = 12307x^{0,2053}$
Λοιπά ατυχήματα- παράκτια- Ατλαντικός/Βόρεια θάλασσα–Όχι	9	$y = 19470x^{0,7651}$
Λοιπά ατυχήματα- παράκτια- Μεσόγειος/Βαλτική–Όχι	25	$y = 51783x^{0,5866}$

Πίνακας 8: Συναρτήσεις και αριθμός περιστατικών ανά συνδυασμό μεταβλητών

Από τα αποτελέσματα παρατηρείται ότι:

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

- Οι μεγαλύτερες κλίσεις αλλά και τιμές συνολικού κόστους παρατηρούνται στα περιστατικά βύθισης. Ακολουθούν οι προσαράξεις που έχουν μεγαλύτερες κλίσεις και τιμές από τις συγκρούσεις, αποτέλεσμα που αντιστοιχεί με τη σύγκρισή τους στο κεφάλαιο 1. Τα λοιπά ατυχήματα έχουν τις μικρότερες κλίσεις και τιμές συνολικού κόστους.
- Οι περισσότερες βυθίσεις και συγκρούσεις έχουν γίνει στον Ειρηνικό ωκεανό, όπου είναι γνωστό πως έχει περισσότερη και εντονότερη θαλάσσια κυκλοφορία πλοίων από άλλες θάλασσες. Περισσότερες προσαράξεις έχουμε στη Μεσόγειο και στη Βαλτική, αφού είναι ρηχές θάλασσες με πολλούς υφάλους και ξέρες.

Συγκρίνοντας τώρα και τις περιπτώσεις που αντιστοιχούν σε ίδια είδη ατυχήματος παρατηρείται ότι:

- Τα περιστατικά βύθισης στον Ειρηνικό και Ινδικό ωκεανό (Σχήμα 34) έχουν σαφώς μικρότερο συνολικό κόστος από ότι στους άλλους ωκεανούς ή θάλασσες. Τις μεγαλύτερες αποζημιώσεις παρατηρούμε στη Μεσόγειο και Βαλτική (Σχήματα 36, 37) για μικρές ποσότητες πετρελαίου (περιπου μέχρι 250 τόνους), ενώ για μεγάλες ποσότητες στον Ατλαντικό και στη Βόρεια θάλασσα (Σχήμα 35) έχουμε τα μεγαλύτερα κόστη. Οι μη παράκτιες περιπτώσεις βύθισης έχουν μεγαλύτερο κόστος από τις παράκτιες.
- Τα ατυχήματα προσάραξης έχουν λίγο μεγαλύτερες αποζημιώσεις σε Μεσόγειο και Βαλτική (Σχήματα 40, 41), ενώ πολύ εντυπωσιακή είναι η διαφορά του κόστους σε ατυχήματα στον Ειρηνικό και Ινδικό που επηρεάζουν την αλιευτική δραστηριότητα (Σχήμα 38) σε σχέση με τα αντίστοιχα ατυχήματα που δεν την επηρεάζουν (Σχήμα 39).

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

- Τα ατυχήματα σύγκρουσης έχουν μεγαλύτερο κόστος για μικρές ποσότητες σε Βαλτική και Μεσόγειο (Σχήμα 44), ενώ για μεγάλες ποσότητες το μεγαλύτερο κόστος έχουν τα περιστατικά σε Ειρηνικό και Ινδικό που επηρεάζουν την αλιευτική δραστηριότητα (Σχήμα 42). Εξίσου εντυπωσιακή, όπως και στις προσαράξεις, είναι η διαφορά επιρροής ή μη της αλιείας σε Ειρηνικό και Ινδικό ωκεανό.
- Στα λοιπά ατυχήματα παρατηρείται πολύ μικρό κόστος σε περιστατικά σε Ειρηνικό και Ινδικό ωκεανό (Σχήμα 45) σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο εφικτό συνδυασμό. Μεγαλύτερο κόστος για τέτοια ατυχήματα έχουν η Βαλτική και η Μεσόγειος (Σχήμα 47), παρότι βέβαια έχουν σαφέστατα μικρότερες τιμές σε σχέση με άλλους συνδυασμούς.

Όλη αυτή η διαδικασία ανάλυσης όχι μόνο επιβεβαίωσε τα συμπεράσματα του κεφαλαίου 3, αλλά συγχρόνως μας έδωσε και μια ποσοτική διαφορά των εφικτών περιπτώσεων. Η απεικόνιση που θα ακολουθήσει θα βοηθήσει να κατανοηθούν τέτοιου είδους συμπεράσματα.

4.5 Παραδείγματα εφαρμογής του μοντέλου εκτίμησης συνολικού κόστους

Στο σημείο αυτό μπορούμε να εφαρμόσουμε το μοντέλο μας σε περιστατικά που δεν προέρχονται από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν για τη παραγωγή του μοντέλου και να παρουσιάσουμε τα αποτελέσματά συγκρίνοντας τα με τα πραγματικά. Για το ατύχημα του Volgoneft 139 που έλαβε χώρα στη Μαύρη θάλασσα κάναμε τη παραδοχή ότι το συγκεκριμένο περιστατικό κατηγοριοποιείται

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

στη κατηγορία περιστατικών ρύπανσης σε Μεσόγειο και Βαλτική και αυτό γιατί αποτελεί το μοναδικό περιστατικό που δε βρίσκεται σε κάποια από τις θαλάσσιες περιοχές των κατηγοριών του μοντέλου. Τα στοιχεία για τα συγκεκριμένα περιστατικά, παρουσιάζονται στους παρακάτω Πίνακες:

<i>Όνομα Πλοίου</i>	Hosei Maru	Seacross	Sonata	Invader
<i>Ημερομηνία Ατυχήματος</i>	21/8/1980	12/11/2001	13/11/1991	24/4/2003
<i>Περιοχή Περιστατικού</i>	Μιγάγκι, Ιαπωνία	Σαλαμίνα, Ελλάδα	Αλεζούντ, Νορβηγία	Κόλπος Ντέλαγουέαρ, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
Είδος Ατυχήματος	Σύγκρουση	Προσάραξη	Βύθιση	Λοιπά ατυχήματα
Απόσταση από την ακτή	Παράκτια	Παράκτια	Μη παράκτια	Παράκτια
Θάλασσα- Ωκεανός ατυχήματος	Ειρηνικός/ Ινδικός ωκεανός	Μεσόγειος/ Βαλτική	Μεσόγειος/ Βαλτική	Ατλαντικός/ Βόρεια θάλασσα
Πληροφορίε ς για αλιευτική	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

δραστηριότητα				
Τόνοι	270	54,32	170	1,36

Πίνακας 9: Πληροφορίες και συνθήκες επιλεχθέντων περιστατικών

<i>Όνομα Πλοίου</i>	King Darwin	Περιστατικό στην Αργεντινή	Volgoneft 139	Toko Maru	Seki
<i>Ημερομηνία Ατυχήματος</i>	27/09/2008	26/12/2007	11/11/2007	23/1/1996	30/3/1994
<i>Περιοχή Περιστατικού</i>	Νιου Μπρούνσγουικ, Καναδάς	Καλέτα Κόρδομπα, Αργεντινή	Στενό του Κερτς, Ρωσία - Ουκρανία	Ανεγκασάκι, Ιαπωνία	Φουτζάιρα, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα
Είδος Ατυχήματος	Λοιπά ατυχήματα	Λοιπά ατυχήματα	Βύθιση	Σύγκρουση	Σύγκρουση
Απόσταση από την ακτή	Παράκτια	Παράκτια	Παράκτια	Παράκτια	Παράκτια
Θάλασσα-Ωκεανός ατυχήματος	Ατλαντικός/ Βόρεια θάλασσα	Ατλαντικός/ Βόρεια θάλασσα	Μεσόγειος/ Βαλτική	Ειρηνικός/ Ινδικός ωκεανός	Ειρηνικός/ Ινδικός ωκεανός
Πληροφορίες για	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

αλιευτική δραστηριότητα					
Τόνοι	64	50	1200	4	1600

Πίνακας 10: Πληροφορίες και συνθήκες επιλεγθέντων περιστατικών

<i>Όνομα Πλοίου</i>	Slops	No. 11 Hae Woon	Azalea
<i>Ημερομηνία Ατυχήματος</i>	15/6/2000	22/7/2004	22/3/1990
<i>Περιοχή Περιστατικού</i>	Πειραιάς, Ελλάδα	Τζεότζε, Δημοκρατία της Κορέας	Χάουγκεζουντ, Νορβηγία
Είδος Ατυχήματος	Λοιπά ατυχήματα	Σύγκορουση	Βύθιση
Απόσταση από την ακτή	Παράκτια	Παράκτια	Μη παράκτια
Θάλασσα-Ωκεανός ατυχήματος	Βαλτική - Μεσόγειος	Ινδικός – Ειρηνικός ωκεανός	Βαλτική/Μεσόγειος
Πληροφορίες για αλιευτική δραστηριότητα	Όχι	Όχι	Όχι
Τόνοι	1500	12	330

Πίνακας 11: Πληροφορίες και συνθήκες επιλεγθέντων περιστατικών

Βάζοντας τα στοιχεία του κάθε ατυχήματος στο πρόγραμμα πέρνουμε τις τιμές του εκτιμώμενου κόστους και τις συγκρίνουμε με το πραγματικό για να

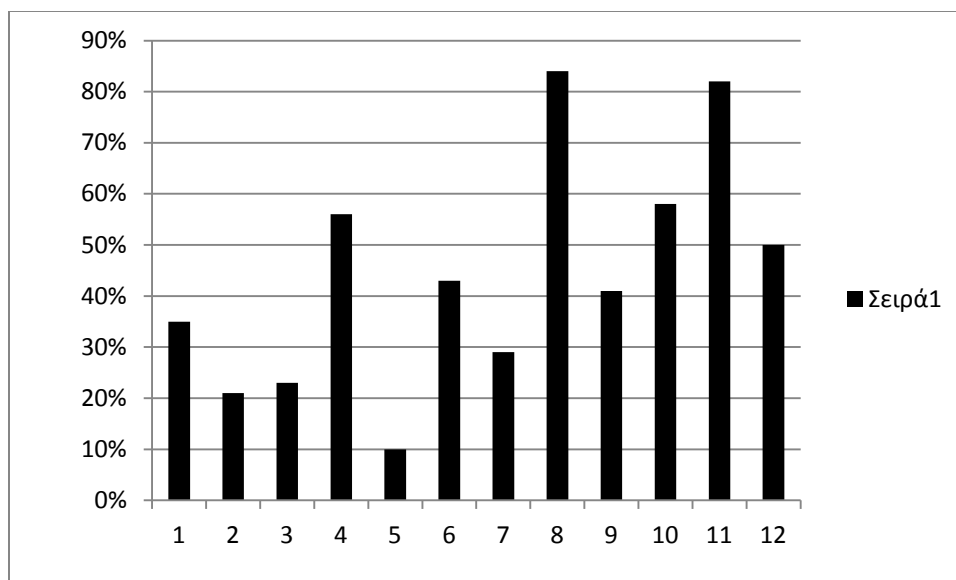
Ανάλυση ανωφέλειας/δυσγρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

δούμε αν το πρόγραμμα λειτουργεί και πόσο μεγάλο είναι το σφάλμα εκτίμησης του. Τα αποτελέσματα βρίσκονται στο παρακάτω πίνακα:

Όνομα Πλοίου	Εκτιμώμενο κόστος (\$)	Πραγματικό κόστος (\$)	Ποσοστό απόκλισης από την πραγματική τιμή
1. Hosei Maru	3.748.632	2.784.498	35%
2. Seacross	1.198.511	1.513.448	21%
3. Sonata	10.867.556	8.860.000	23%
4. Invader	25.921	59.228	56%
5. Slops	4.817.925	5.370.563	10%
6. No. 11 Hae Woon	199.336	350.629	43%
7. Azalea	18.028.201	13.940.000	29%
8. King Darwin	208.874	1.332.488	84%
9. Volgoneft 139	15.333.235	10.840.996	41%
10. Περιστατικό στην Αργεντινή	182.725	115.949	58%
11. Toko Maru	285.663	1.568.627	82%
12. Seki	11.122.214	22.046.144	50%

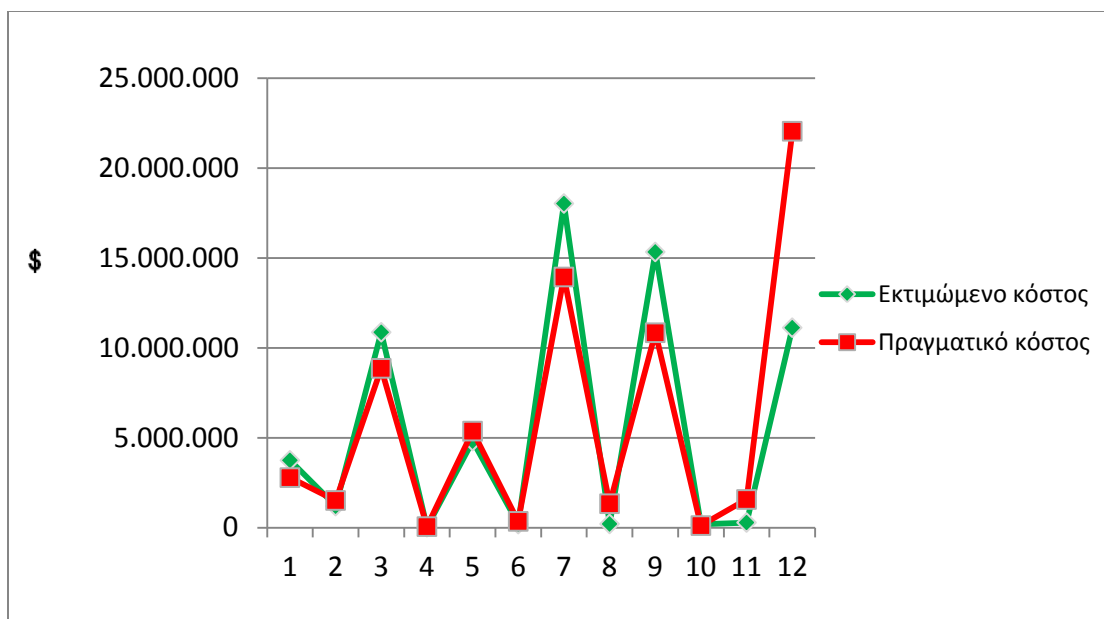
Πίνακας 12: Σύγκριση εκτιμώμενου και πραγματικού συνολικού κόστους επιλεγθέντων περιστατικών

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία



Σχήμα 57: Ποσοστιαία απόκλιση εκτιμώμενου από το πραγματικό κόστος επιλεχθέντων περιστατικών

Τα ποσοστά απόκλισης κόστους πετρελαιοκηλίδων δεν δείχνουν με το καλύτερο δυνατό τρόπο την τάξη μεγέθους απόκλισης, επειδή αυτή δημιουργεί λανθασμένη εντύπωση για τις εκτιμήσεις μικρών τιμών κόστους παρά τη πολύ καλή προσέγγιση τους. Στο παρακάτω σχήμα παρατίθεται η σύγκρισή του εκτιμώμενου και του πραγματικού κόστους γραφικά (οι αριθμοί του οριζόντιου άξονα αντιστοιχούν στον αριθμό στοίχισης του παραπάνω πίνακα):



Σχήμα 58: Σύγκριση εκτιμώμενου και πραγματικού συνολικού κόστους επιλεγθέντων περιστατικών

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 12 παρατηρούμε ότι το μοντέλο έδωσε μία προσέγγιση της τάξης μεγέθους των κηλίδων και τουλάχιστον στο κομμάτι των συμπερασμάτων κατορθώθηκε να προκύψουν κάποιες τάσεις πολύ χρήσιμες και αξιόλογες, που η αληθοφάνεια τους είναι αδιαμφισβήτητη και επιβεβαιώνεται και από τα συμπεράσματα της Etkin [3], [9]. Η τάξη μεγέθους του σφάλματος είναι αναμενόμενη, αφενός λόγω της ανεπάρκειας της βάσης δεδομένων σε πληροφορίες, ώστε να χρησιμοποιηθούν περισσότερες μεταβλητές και αφετέρου λόγω έλλειψης ικανού αριθμού περιστατικών ώστε το αποτέλεσμα να συγκλίνει όσο το δυνατόν περισσότερο στο πραγματικό. Η απροθυμία των εμπλεκόμενων για ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με το θέμα και ο έντονος ανταγωνισμός καθιστά τα αποτελέσματα υψηλού επιπέδου απόρρητα, με συνέπεια, όποιο μοντέλο βασίζεται σε δημόσια δεδομένα να απέχει πολύ από τη πραγματικότητα σε σχέση με τα απόρρητα μοντέλα εμπλεκόμενων ιδιοτικών επιχειρήσεων.

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Το μοντέλο θα πρέπει να κριθεί λαμβάνοντας υπόψη τις αδυναμίες που αναφέρθηκαν παραπάνω, όμως για ακόμη μία φορά εντοπίζεται η ανάγκη για συστηματική και ομοιόμορφη καταγραφή δεδομένων σχετικά με τη ρύπανση (και τη τύχη της) από τις θαλάσσιες μεταφορές. Καμία μέθοδος μοντελοποίησης δε μπορεί ποτέ να προσδιορίσει ακριβώς ή να προβλέψει το κόστος της πετρελαιοκηλίδας. Προηγούμενες προσπάθειες έχουν το ίδιο μειονέκτημα με το παρόν μοντέλο, το οποίο δεν είναι άλλο από την κακή ακρίβεια. Το πλεονέκτημα αυτού του μοντέλου όμως, είναι η ευκολία στη χρήση και η πρωτοτυπία δημιουργίας του μέσω προγραμματισμού η οποία καθιστά τη μελέτη ελεύθερη σε πιθανό εμπλουτισμό σε δεδομένα και πληροφορίες από άλλον χρήστη.

4.6 Ανάλυση ευαισθησίας του μοντέλου εκτίμησης κόστους

Στην συγκεκριμένη ενότητα επιχειρήθηκε να αναλυθεί η συμπεριφορά του μοντέλου εκτίμησης του κόστους αντιμετώπισης κηλίδων, όταν μεταβάλλονται οι παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για τη διαμόρφωση του κόστους. Επιλέχθηκαν τα περιστατικά ρύπανσης των πλοίων Slops, No.11 Hae Woon και Sonata για τα οποία εφαρμόστηκε το μοντέλο σε πιθανά σενάρια με διαφορετικά χαρακτηριστικά κηλίδας, ώστε να παρατηρηθούν οι μεταβολές στο κόστος. Τα σενάρια που υποθέσαμε, για τον κάθε παράγοντα που επηρεάζει το κόστος, παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Τα τρία αυτά περιστατικά έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και αξίζει να μελετηθούν οι μεταβολές στο συνολικό κόστος σε μεταβολές της απόστασης από

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

την ακτή, της ευρύτερης περιοχής του ατυχήματος, στην ύπαρξη ή μη της αποζημίωσης για αλιευτική δραστηριότητα και στο είδος ατυχήματος.

<i>Slops</i>	Πραγματικό	Υπόθεση 1	Υπόθεση 2	Υπόθεση 3	Υπόθεση 4
Είδος Ατυχήματος	Λοιπά ατυχήματα	Λοιπά ατυχήματα	Λοιπά ατυχήματα	Βύθιση	Σύγκρουση
Απόσταση από την ακτή	Παράκτια	Παράκτια	Παράκτια	Παράκτια	Παράκτια
Θάλασσα-Ωκεανός ατυχήματος	Βαλτική - Μεσόγειος	Ινδικός – Ειρηνικός ωκεανός	Ατλαντικός – Βόρεια θάλασσα	Βαλτική – Μεσόγειος	Βαλτική – Μεσόγειος
Πληροφορίες για αλιευτική δραστηριότητα	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι
Τόνοι	1500	1500	1500	1500	1500
Εκτιμώμενο συνολικό κόστος	4.817.925	103.492	1.153.722	18.419.752	17.243.920

Πίνακας 13: Υποθετικά σενάρια για το περιστατικό του πλοίου Slops

<i>No.11 Hae Woon</i>	Πραγματικό	Υπόθεση 1	Υπόθεση 2	Υπόθεση 3
Είδος	Σύγκρουση	Σύγκρουση	Σύγκρουση	Λοιπά

Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Ατυχήματος				ατυχήματα
Απόσταση από την ακτή	Παράκτια	Παράκτια	Παράκτια	Παράκτια
Θάλασσα-Ωκεανός ατυχήματος	Ινδικός – Ειρηνικός ωκεανός	Βαλτική – Μεσόγειος	Ινδικός – Ειρηνικός ωκεανός	Ινδικός – Ειρηνικός ωκεανός
Πληροφορίες για αλιευτική δραστηριότητα	Όχι	Όχι	Ναι	Όχι
Τόνοι	12	12	12	12
Εκτιμώμενο συνολικό κόστος	199.336	317.250	558.917	23.018

Πίνακας 14: Υποθετικά σενάρια για το περιστατικό του πλοίου No.11 Hae Woon

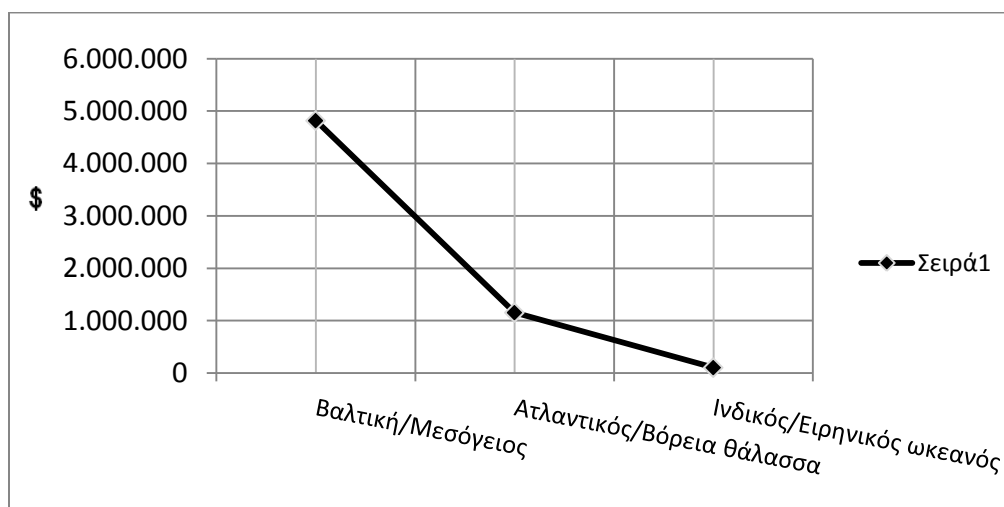
<i>Sonata</i>	Πραγματικό	Υπόθεση 1	Υπόθεση 2	Υπόθεση 3
Είδος Ατυχήματος	Βύθιση	Βύθιση	Βύθιση	Βύθιση
Απόσταση από την ακτή	Μη Παράκτια	Παράκτια	Μη παράκτια	Μη παράκτια
Θάλασσα-Ωκεανός ατυχήματος	Βαλτική – Μεσόγειος	Βαλτική – Μεσόγειος	Βαλτική – Μεσόγειος	Βαλτική – Μεσόγειος
Πληροφορίες για αλιευτική δραστηριότητα	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Τόνοι	170	170	10	320
Εκτιμώμενο συνολικό κόστος	10.867.556	3.076.549	1.250.494	17.610.732

Πίνακας 15: Υποθετικά σενάρια για το περιστατικό του πλοίου Sonata

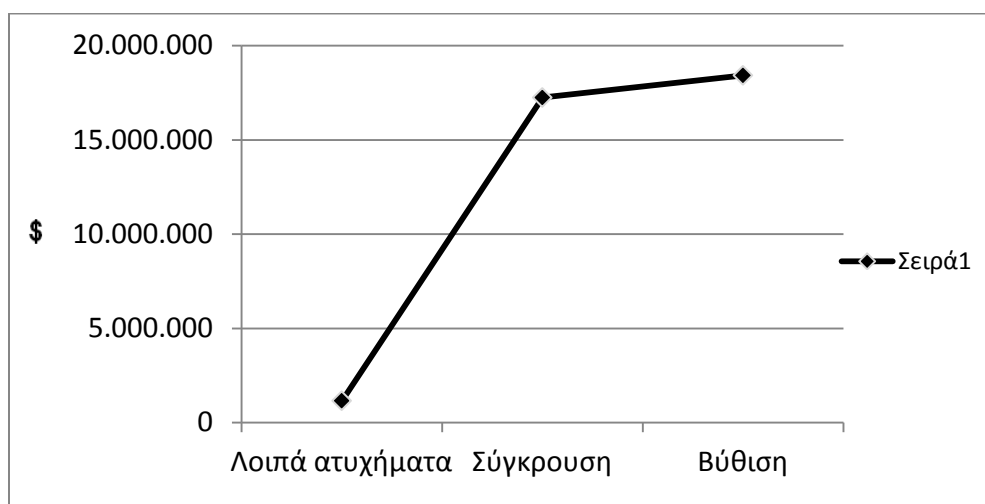
Τα αποτελέσματα των πινάκων 13, 14 και 15 επιβεβαιώνουν τις γενικές τάσεις που παρατηρήθηκαν στον Πίνακα 8 αλλά και εκτιμήσεις του τρίτου κεφαλαίου. Συγκεκριμένα, το συνολικό κόστος είναι μεγαλύτερο στη Βαλτική και τη Μεσόγειο από τα αντίστοιχα περιστατικά αν συμβούν στη Βόρεια θάλασσα ή Ατλαντικό ωκεανό και ακόμα περισσότερο αν συμβούν σε Ινδικό ή Ειρηνικό ωκεανό. Το συμπέρασμα αυτό ταυτίζεται με την γενικότερη τάση, η οποία έχει προαναφερθεί και διαπιστωθεί από τη μελέτη των αποτελεσμάτων του μοντέλου εκτίμησης κόστους. Παρακάτω φαίνεται και γραφικά:



Σχήμα 59: Αντιπαράθεση πραγματικού περιστατικού ρύπανσης του πλοίου Slops που συνέβη στη Μεσόγειο, με υποθετικά σενάρια (Ατλαντικός/Βόρεια θάλασσα – Ινδικός/Ειρηνικός ωκεανός)

Ανάλυση ανωφελείας/δυσρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Η διαφορά είναι εμφανής στο συνολικό κόστος που προκύπτει σε περιστατικά βύθισης που έχουν μεγαλύτερο κόστος σε σχέση με περιστατικά σύγκρουσης και αυτά με τη σειρά τους μεγαλύτερο κόστος σε σχέση με λοιπά ατυχήματα που έχουν πολύ μικρότερο κόστος. Το συμπέρασμα αυτό, είναι όμοιο με τα συμπεράσματα του Πίνακα 8 της μελέτης των συναρτήσεων των περιστατικών ανά συνδυασμό μεταβλητών. Παρακάτω παρατίθενται γραφικά τα παραπάνω:



Σχήμα 60: Αντιπαράθεση πραγματικού περιστατικού ρύπανσης του πλοίου Slops που προέκυψε από φωτιά (περιλαμβάνεται στα Λοιπά ατυχήματα), με υποθετικά σενάρια (σύγκρουσης – πρόσκρουσης)

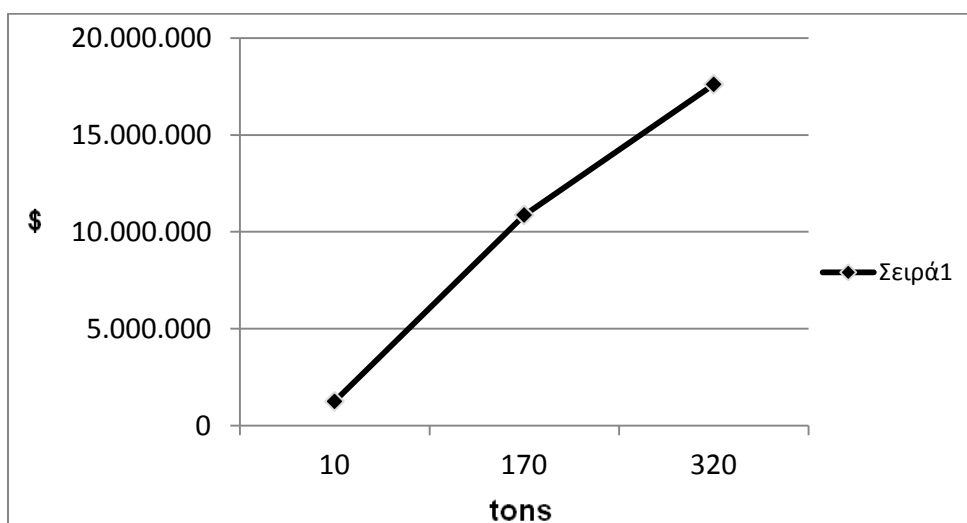
Τα περιστατικά βύθισης έχουν μεγαλύτερο συνολικό κόστος όταν βρίσκονται μακριά από την ακτή σε σχέση με μικρές αποστάσεις. Το προκύπτον αποτέλεσμα εξηγείται δυσκολότερα από τα παραπάνω. Στις προηγούμενες αναλύσεις του Πίνακα 8 αλλά και του τρίτου κεφαλαίου παρατηρήθηκε μεγαλύτερο συνολικό κόστος στα παράκτια ατυχήματα από ότι στα μη παράκτια. Όμως, στο τρίτο κεφάλαιο έχει σχολιασθεί επίσης η δυσμενής περίπτωση

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

καθαρισμού σε βυθίσες πλοίων με μεγάλο φορτίο πετρελαίου, που μπορεί να κρατήσει και χρόνια με το συνολικό κόστος να επιβαρύνεται σημαντικά. Ένα πλοίο κοντά στην ακτή ανεγείρεται πολύ πιο εύκολα από ένα πλοίο μακριά από την ακτή που πολύ πιθανό να μην ανεγερθεί ποτέ και να συνεχίσει να μολύνει τη περιοχή για χρόνια.

Με το συνδυασμό αυτών των συμπερασμάτων εξηγείται το αποτέλεσμα που προέκυψε από την αντιπαράθεση πραγματικού περιστατικού ρύπανσης του πλοίου Sonata που έγινε μακριά από την ακτή, με υποθετικό σενάριο (κοντά στην ακτή).

Έπειτα, παρατίθεται διάγραμμα που συγκρίνει πραγματικό σενάριο με υποθετικά σενάρια διαφορετικής ποσότητας διαρροής. Η απεικόνιση αυτή δείχνει πόσο μεγάλη κλίση έχουν τα περιστατικά βύθισης, πόσο πολύ δηλαδή αυξάνεται το συνολικό κόστος με την αύξηση της ποσότητας της κηλίδας.



Σχήμα 61: Αντιπαράθεση πραγματικού περιστατικού ρύπανσης του πλοίου Sonata διαρροής 170 τόνων, με υποθετικά σενάρια (μικρότερης – μεγαλύτερης διαρροής)

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

Επίσης, παρατηρείται ότι το συνολικό κόστος σε περίπτωση αποζημιώσεων για την αλιευτική δραστηριότητα είναι εμφανώς μεγαλύτερο από την περίπτωση που δεν έχει τέτοια αποζημίωση, στην αντιπαράθεση πραγματικού περιστατικού ρύπανσης του πλοίου No.11 Hae Woon με υποθετικό σενάριο (που περιλαμβάνει αποζημιώσεις για την αλιευτική δραστηριότητα), συμπέρασμα το οποίο ταυτίζεται κι αυτό με όσα έχουν διαπιστωθεί στη μελέτη των αποτελεσμάτων του μοντέλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Γενικά συμπεράσματα

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο συνοψίζονται τα κύρια συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας. Τα συμπεράσματα αυτά προέκυψαν από την επεξεργασία της βάσης δεδομένων στο τρίτο κεφάλαιο, αλλά κυρίως, από την μελέτη και ανάλυση του μοντέλου εκτίμησης συνολικού κόστους πετρελαιοκηλίδων, που παρουσιάστηκε στο τέταρτο κεφάλαιο.

Τα συμπεράσματα, λοιπόν, από την ανάλυση του πρώτου, κατά σειρά εμφάνισής τους στο αντίστοιχο κεφάλαιο, είναι τα ακόλουθα:

- Περιστατικά που καταλήγουν σε βύθιση έχουν και το μεγαλύτερο συνολικό κόστος. Αυτό συμβαίνει διότι οι διαρροές σε βυθίσεις είναι πολύ μεγαλύτερες κατά μέσο όρο καθώς ένα πλοίο που βυθίζεται ρύπαινει τη θάλασσα με όλη τη ποσότητα πετρελαίου που φέρει. Ακόμη, μία πολύ σημαντική παράμετρος είναι ότι πολλά βυθισμένα πλοία αργούν να ρυμουλκηθούν ή και δεν ρυμουλκούνται ποτέ, με μικροδιαρροές να λαμβάνουν χώρα καθημερινά και τα μέσα καθαρισμού να επιστρατεύονται συνεχώς. Αυτό σίγουρα αυξάνει σημαντικά το κόστος.
- Περιστατικά εντός λιμένων έχουν το μικρότερο κόστος. Οι κηλίδες περιορίζονται από τα φράγματα του λιμένα, με αποτέλεσμα να έχουν εύκολη διαδικασία καθαρισμού. Βεβαίως, η σημαντικότερη παράμετρος είναι οι πολύ μικρές ποσότητες που συνδυάζονται με τέτοια ατυχήματα αφού τα είδη των ατυχημάτων είναι αστοχίες ή κακές εκτιμήσεις στις εισόδους - εξόδους από το λιμάνι και όλες οι διεργασίες που συμβαίνουν σε αυτό. Φυσικά, η αντιμετώπιση τους είναι και πιο γρήγορη και εύκολη. Συμπερασματικά, οι συνθήκες τέτοιων κηλίδων οδηγούν σε πολύ χαμηλά κόστη.

Ανάλυση ανωφέλειας/δυσγρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

- Τα περιστατικά προσάραξης έχουν μεγαλύτερες μέσες τιμές από τα περιστατικά σύγκρουσης. Αυτό συμβαίνει διότι οι προσαράξεις, όπως είναι λογικό, συμβαίνουν πολύ κοντά σε ακτές με αποτέλεσμα το κόστος καθαρισμού να είναι πιο ακριβό αφού περιλαμβάνει σε όλα τα ατυχήματα καθαρισμό ακτών, αποζημιώσεις που αφορούν το περιβάλλον και την αλιευτική δραστηριότητα κ.α. Είναι γνωστό και έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 1 ότι όταν οι ακτές μολύνονται επιβαρύνεται σημαντικά το συνολικό κόστος.
- Τα περιστατικά σε ανοιχτές θάλασσες σε σχέση με τα παράκτια έχουν δυσκολότερη ανάλυση. Τα παράκτια ατυχήματα έχουν ελαφρώς μεγαλύτερο κόστος λόγω των επιπλέον αποζημιώσεων των τοπικών κοινωνιών για τουρισμό, περιβάλλον και αλιεία, όμως μεγαλύτερες αποζημιώσεις προκύπτουν σε υπέρογκες μη παράκτιες κηλίδες λόγω εκτεταμένων διαρροών σε βυθίσεις, ο καθαρισμός των οποίων μπορεί να διαρκέσει και χρόνια επιβαρύνοντας δραματικά το συνολικό κόστος.
- Οι περισσότερες βυθίσεις και συγκρούσεις έχουν γίνει στον Ειρηνικό ωκεανό, όπου είναι γνωστό πως έχει περισσότερη και εντονότερη θαλάσσια κυκλοφορία πλοίων από άλλες θάλασσες. Περισσότερες προσαράξεις έχουμε στη Μεσόγειο και στη Βαλτική, αποτέλεσμα λογικό αφού είναι ρηχές θάλασσες με πολλούς υφάλους και ξέρες.
- Τα περιστατικά που περιλαμβάνουν αποζημιώσεις για την αλιευτική δραστηριότητα προκαλούν αλματώδεις αυξήσεις στο συνολικό κόστος. Σε πολλές περιοχές η αλιεία είναι ένα πολύ μεγάλο κομμάτι της τοπικής οικονομίας και με τον ολικό αποκλεισμό της για μήνες οι αποζημιώσεις είναι πολύ υψηλές και συνήθως κυμαίνονται σε ποσοστό 25 με 35% του συνολικού κόστους. Αξίζει να

Ανάλυση ανωφελείας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

σημειωθεί ότι υπάρχουν περιπτώσεις που μπορεί να φτάσουν και στο 80% του συνολικού κόστους.

- Από τα στοιχεία της βάσης δεδομένων, προκύπτει ότι οι μικρές κηλίδες έχουν σαφώς μεγαλύτερο κόστος, σε μία ανάλυση ανά μονάδα ποσότητας ρυπογόνου ουσίας που συλλέγεται, σε σχέση με τις μεγαλύτερες κηλίδες. Όλα τα παραπάνω βρίσκουν την εξήγησή τους στα κόστη τα σχετικά με την επιλογή και κατάστρωση της στρατηγικής αντιμετώπισης, τη μεταφορά, εγκατάσταση και χρήση του εξοπλισμού αντιμετώπισης, καθώς και την εκτίμηση της όλης κατάστασης και του προβλήματος από ειδικούς. Συγκεκριμένα, μια μικρή κηλίδα απαιτεί σημαντικό ποσοστό επίβλεψης και προσωπικού. Η κινητοποίηση του ανθρώπινου δυναμικού και του σχετικού εξοπλισμού αντιμετώπισης είναι δεδομένη, ακόμη και για μικρές κηλίδες, ενώ τα εργατικά πληρώματα και ο ενοικιασμένος εξοπλισμός κοστίζουν το ίδιο, είτε αυτά χρησιμοποιηθούν είτε όχι.
- Στην εξέλιξη του μοντέλου μας διαπιστώθηκε ότι, σίγουρα, το σύνολο των 250 περίπου περιστατικών από τις βάσεις δεδομένων είναι τελικά αρκετά περιορισμένο σε αριθμό αλλά και σε πληροφορίες. Παρά ταύτα, τουλάχιστον στο κομμάτι των συμπερασμάτων, κατορθώθηκε να προκύψουν κάποιες τάσεις πολύ χρήσιμες και αξιόλογες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλιογραφία

- [1]. “Åland Sea Formal Safety Assessment”, Ship to ship collision damage cost assessment methods and calculations
- [2]. Etkin D.S. , “Analysis of Benefits of EPA Oil Program”, Environmental Research Consulting Cortlandt Manor, NY, USA
- [3]. Etkin D.S. (2001), “Comparative Methodologies for Estimating On-water Response Costs for Marine Oil Spills”, International Oil Spill Conference, pp. 1281 – 1289
- [4]. Etkin D.S. (1999), “Estimating Cleanup Costs for Oil Spills”, International Oil Spill Conference, (Paper #168)
- [5]. European Maritime Safety Agency (2010), “E.U. States Claims Management Guidelines”, Claims arising due to maritime pollution incidents
- [6]. White I.C., “Factors Affecting the Cost of Oil Spill”
- [7]. White I.C., Molloy F.C., “Factors that Determine the Cost of Oil Spills”
- [8]. Etkin D.S., “Methodologies for Estimating Shoreline Cleanup Costs” Proceedings of 24th Arctic and Marine Oilspill Program Technical Seminar, pp.647-70
- [9]. Etkin D.S., “Modeling Oil Spill Response and Damage Costs”, Environmental Research Consulting Cortlandt Manor, NY, USA
- [10]. Mohammad Shahriari, Anton Frost (2008), “Oil Spill Cleanup Cost Estimation-Developing a Mathematical Model for Marine Environment
- [11]. International Oil Pollution Compensation Funds (2006), “Financial Consequences of Oil Spills”, Oil Pollution Claims and Compensation Workshop
- [12]. Yasuhira Yamada, “The Cost of Oil Spills from Tankers in Relation to Weight of Spilled Oil”

- [13]. Catherine J. Grey (1999), “The Cost of Oil Spills from Tankers in Relation to Weight of Spilled Oil”, International Oil Spill Conference
- [14]. Mark A. Cohen (1986), “The Costs and Benefits of Oil Spill Prevention and Enforcement”, Journal of Environmental Economics and Management
- [15]. Etkin D.S., “Cleanup Costs for Oil Spills in Ports”, Port Technology International, pp. 237 – 241
- [16]. Etkin D.S. (2000), “Worldwide Analysis of Marine Oil Spill Cleanup Cost Factors”, Environmental Research Consulting Winchester, Massachusetts, USA
- [17]. Christos A. Kontovas, Harilaos N. Psaraftis, Nikolaos P. Ventikos (2010), “An empirical analysis of IOPCF oil spill cost data”, Marine Pollution Bulletin
- [18]. A. Debon, J. Carlos Garcia-Diaz (2011), “Fault Diagnosis and Comparing Risk for the Steel Coil Manufacturing Process Using Statistical Models for Binary Data”, Reliability Engineering and System Safety
- [19]. Gopal K. Kanji (1999), “100 Statistical Tests”
- [20]. Sally Ann Lentz, Fred Felleman, “Oil Spill Prevention: A Proactive Approach”
- [21]. US Army Corps of Engineers (2003), “San Francisco Central Bay Rock Removal Project”
- [22]. Molly McCammon (2003), “Economic Social and Enviromental Effects of the Prestige Spill”

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

**ΚΩΔΙΚΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ
ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΗΛΙΔΕΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΑΠΟ ΠΛΟΙΑ**

Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

```
% Fivos Sotiropoulos
%
% Diplomatiki
%
% We ask the user to give us inputs on the accident (type, distance from
% shore, location and whether the area is considered a fishing area or not)
% in order to obtain an estimate of the resulting cost

% Here we try to pose the question in such a way that we can get only
% discrete answers from the user and preferably even numbers. e.g. What is
% your favourite colour? [1 for blue, 2 for green etc]

clc

%% 1st input from user: Accident Type

input(['Welcome to the Accident Cost Estimation Program by',...
      ' Fivos Sotiropoulos.\n', ...
      'You can press CTRL+C at anytime if you want to',...
      ' terminate the program. To continue press enter.\n']);

clear all

AccidentTypeLimit = 4; % maximum available types of accidents

AccidentType = input(['Please enter the type of accident [1: break/sink, '...
                    '2: grounding, 3: collision, 4: other]: \n']);

% '...' is used to continue a command to the next line

while isempty(AccidentType) || (AccidentType <= 0) || ...
      (AccidentType > AccidentTypeLimit) || (~isnumeric(AccidentType))

    AccidentType = input(['Wrong input type. Please select one of the '...
                        'available answers\n Type of accident '...
                        '[1: break/sink, 2: grounding, 3: collision, '...
                        '4: other]: \n']);
```


Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

```
end

%% 2nd input from user: Distance from Shore

ShoreDistanceLimit = 2; % number of possible answers

ShoreDistance = input('Distance from shore [1: >10miles, 2:<=10 miles]: \n');

while isempty(ShoreDistance) || (ShoreDistance <= 0) || ...
    (ShoreDistance > ShoreDistanceLimit) || (~isnumeric(ShoreDistance))

    ShoreDistance = input(['Wrong input type. Please select one of the '...
        'available answers\n Distance from shore '...
        'in miles [1: >10miles, 2:<=10 miles]: \n']);
end

%% 3rd input from user: Accident Location

AccidentLocationLimit = 3; %

AccidentLocation = input(['Accident location [1: Pacific or Indian ocean, '...
    '2: Atlantic Ocean or North sea,\n3: Baltic or '...
    'Mediterranean sea]: \n']);

while isempty(AccidentLocation)|| (AccidentLocation <= 0) || ...
    (AccidentLocation > AccidentLocationLimit) ||
    (~isnumeric(AccidentLocation))

    AccidentLocation = input(['Wrong input type. Please select one of the '...
        'available answers\n Accident location '...
        '[1: Pacific or Indian ocean, '...
        '2: Atlantic Ocean or North sea, '...
        '3: Baltic or Mediterranean sea]: \n']);
end

%% 4th input from user: Is it a fishing area?

FishingLimit = 2; %

Fishing = input('Is it a fishing area ? [1: Yes, 2: No]: \n');
```

```
while isempty(Fishing) || (Fishing <= 0) || (Fishing > FishingLimit) || ...
    (~isnumeric(Fishing))

    Fishing = input(['Wrong input type. Please select one of the '...
        'available answers\n Is it a fishing area? '...
        '[1: Yes, 2: No]: \n']);
end

%% Read the appropriate cost table

CommandFivosStr = mfilename;

filenameBase = [pwd, '\thesis_'];
% In this variable we put the full path of the folders of the files
% and the common part of the filename, e.g. C:\fibs\diplomatiki

filename = [filenameBase, num2str(AccidentType),'.xls'];

    %'_', num2str(ShoreDistance), '_', num2str(AccidentLocation), '_',...
    %num2str(Fishing), '.xls'];

% the complete filename includes the indicators for the accident variables

% We read the appropriate file
%[num,txt,raw] = xlsread(filename,-1);

sheetID = [num2str(AccidentType), '_', num2str(ShoreDistance), '_', ...
    num2str(AccidentLocation), '_', num2str(Fishing)]; % e.g.1_1_1_1

Pinakas = xlsread(filename,sheetID);

if isempty(Pinakas) % If variable is empty then no results found
    input(['Unfortunately, there are no results for the selected input.' ...
        ' Please press enter to give a different input\n'])
    eval(CommandFivosStr);
end

% Power trendline fit
```

Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

```
x = Pinakas(:,1);
y = Pinakas(:,2);

if length(Pinakas)>=5

    xlog = log10(x);
    ylog = log10(y);
    p = polyfit(xlog,ylog,1); % y=a*x^k
    k = p(1);
    loga = p(2);
    a = 10^(loga);
    Rsq = 1-sum((y-a*x.^k).^2)/sum((y-mean(y)).^2);

    % Ask the user to select tons of oil spilled and return the estimated
    % cost

    tonsSpilled = input('Please enter the number of tons spilled:\n');

    while isempty(tonsSpilled) || (tonsSpilled <= 0) || ...
        (~isnumeric(tonsSpilled))

        tonsSpilled = input(['Wrong input type. Please enter a positive '...
            'number:\n']);

    end

    dollars = a*tonsSpilled^k;
    dollars_output = ['The estimated cost for an oil spil of %4.1f tons is:\n'...
        '%4.1f$\n'];
    fprintf(1,dollars_output,tonsSpilled,dollars)

    % Build the graph
    figure(1)
    loglog(x,y,'*');
    axis equal square
    hold on; loglog(x,a*x.^k)
```

Ανάλυση ανωφελειας/δυσχρησιμότητας για τις κηλίδες πετρελαίου από πλοία

```
legend('Data',sprintf('y=%.3f{x}^{%.3f}',a,k));
% legend('Data',sprintf('y=%.3f{x}^{%.3f}, R^2=%.3f',a,k,Rsq)); legend
% with Rsquared
xlabel('Tons')
ylabel('Dollars $')
title(['Cost-Tons plot for Accitent type: ',num2str(AccidentType), ...
    ', Distance: ', num2str(ShoreDistance), ', Location: ', ...
    num2str(AccidentLocation), ', Fishing:', num2str(Fishing)])
grid
hold off;

elseif Fishing == 1
    input(['Unfortunately, the result is not feasible for the selected' ...
        ' input.\nPlease press enter to give a different input ' ...
        'or Ctrl+C to terminate the program\n'])
    eval(CommandFivosStr);

else
    input(['Unfortunately, the result is not reliable due to unusual' ...
        ' variables.\nPlease press enter to give a different input ' ...
        'or Ctrl+C to terminate the program\n'])
    eval(CommandFivosStr);
end

% End of program
```