



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στατιστική ανάλυση ναυτικών ατυχημάτων σε πλοία Chemical Tanker  
και εφαρμογή αλγορίθμου εξόρυξης δεδομένων



ΒΑΡΔΑΚΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Επιβλέπων : Νικόλαος Π. Βεντίκος, Δρ. Αναπληρωτής Καθ. Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2018

Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση ή διανομή της παρούσας εργασίας (ή τμήματος αυτής) για εμπορικούς σκοπούς. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπούς μη κερδοσκοπικούς, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση της αναφοράς της πηγής προέλευσης και της διατήρησης του παρόντος μηνύματος. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή τη διπλωματική εργασία, εκφράζουν αποκλειστικά τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Από τη θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή του τομέα Θαλασσίων Μεταφορών της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Δρ. Νικόλαο Π. Βεντίκο για την ανάθεση και επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η συνεργασία που είχαμε, η εμπιστοσύνη στο πρόσωπό μου και οι καίριες συμβουλές του ήταν στοιχεία απαραίτητα ώστε να έρθει εις πέρας η εργασία.

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά και τον υποψήφιο διδάκτορα Κωσταντίνο Λούζη για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου και την αδερφή μου, για την υπομονή και την στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια και για όσα μου έχουν προσφέρει.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συναδέλφους Δασκαλάκη Χρήστο, Καλαμάτα Γεώργιο και Μάλαμα Χρήστο για τη βοήθεια, τη συνεργασία, την ανταλλαγή γνώσεων και απόψεων και τη συμπόρευση που υπήρξε σε οποιοδήποτε καίριο ζήτημα, που συνέβαλαν στην περάτωση των σπουδών μου.

Βαρδάκας Παναγιώτης

Αθήνα, Ιούλιος 2018

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ .....	11
1.1. Γενικές πληροφορίες .....	12
1.2. Ιστορική εξέλιξη.....	14
1.3. Συστήματα φορτίου.....	18
1.3.1. Δεξαμενές φορτίου.....	18
1.3.2. Συστήματα άντλησης φορτίου και σωληνώσεων.....	20
1.3.3. Συστήματα εξαερισμού φορτίου .....	21
1.3.4. Συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου φορτίου.....	21
1.4. Κίνδυνοι μεταφερόμενων φορτίων.....	22
1.4.1. Κίνδυνος πυρκαγιάς.....	22
1.4.2. Κίνδυνος έκρηξης.....	22
1.4.3. Κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία.....	23
1.4.4. Κίνδυνοι για το περιβάλλον.....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	26
2.1. Περιγραφή δείγματος δεδομένων .....	26
2.2. Ετήσιος στόλος (Fleet at risk) .....	27
2.3. Κατανομή ατυχημάτων ανά έτος.....	28
2.4. Κατανομή ατυχημάτων ανά έτος ναυπήγησης .....	29
2.5. Κατανομή ατυχημάτων ανά σημαία.....	30
2.6. Κατανομή ατυχημάτων ανά γεωγραφική ζώνη.....	31
2.7. Κατανομή ατυχημάτων ανά τύπο ατυχήματος .....	33
2.8. Κατανομή ατυχημάτων ανάλογα με το Deadweight.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	36
3.1. Εισαγωγή στη μη παραμετρική στατιστική .....	36
3.2. Η μέθοδος ελέγχου ανεξαρτησίας $\chi^2$ (Chi square independence test).....	38
3.3. Εφαρμογή ελέγχου ανεξαρτησίας $\chi^2$ ως προς το είδος ατυχήματος.....	39
3.3.1. DWT .....	40
3.3.2. Σημαία του πλοίου (Flag).....	41
3.3.3. Ζώνη ατυχήματος (SIS Zone) .....	42
3.3.4. Έτος ατυχήματος (Year of casualty).....	43
3.3.5. Έτος κατασκευής του πλοίου (Year of build).....	44
3.3.6. Ηλικία του πλοίου (Age of ship) .....	45

3.4. Συμπεράσματα του στατιστικού ελέγχου ανεξαρτησίας .....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ CHEMICAL TANKER.....	48
Κεφάλαιο 4.1. Στατιστική ανάλυση ατυχημάτων.....	49
4.1.1. Collision.....	51
4.1.2. Contact.....	55
4.1.3. Wrecked/Stranded.....	59
4.1.4. Hull/Mchy. Damage .....	63
4.1.5. Fire/Explosion .....	67
Κεφάλαιο 4.2. Συχνότητες ατυχημάτων.....	71
4.2.1. Συχνότητες ατυχημάτων συναρτήσει των ηλικιών των πλοίων.....	72
4.2.2. Συχνότητες ατυχημάτων συναρτήσει του DWT των πλοίων.....	75
4.2.3. Σύγκριση αποτελεσμάτων με παρόμοιες έρευνες.....	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΞΟΡΥΞΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (DATA MINING) .....	80
5.1. Ανακάλυψη γνώσης από βάσεις δεδομένων .....	80
5.1.1. Γενικές πληροφορίες .....	80
5.1.2. Διαδικασία ανακάλυψης γνώσης.....	80
5.1.3. Χρησιμοποιούμενα εργαλεία εξόρυξης δεδομένων .....	82
5.1.4. Μηχανισμοί εξόρυξης δεδομένων .....	83
5.1.5. Βιβλιογραφική επισκόπηση.....	85
5.2. Εξόρυξη των δεδομένων της παρούσας εργασίας.....	86
5.2.1. Επιλογή και μετασχηματισμός των δεδομένων .....	86
5.2.2. Επιλογή εργαλείων εξόρυξης .....	87
5.2.3. Ανάλυση της διαδικασίας εξόρυξης.....	88
5.2.3. Αποτελέσματα της συσταδοποίησης .....	92
5.2.4. Σχολιασμός και ερμηνεία των αποτελεσμάτων .....	95
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....	102
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	106

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ**

Σχήμα 1: Fleet at risk από τη βάση δεδομένων Clarksons .....	27
Σχήμα 2: Ατυχήματα ανά έτος .....	28
Σχήμα 3: Ατυχήματα ανά έτος ναυπήγησης.....	29
Σχήμα 4: Ατυχήματα ανά σημαία πλοίου.....	30
Σχήμα 5: Ατυχήματα ανά γεωγραφική ζώνη .....	32
Σχήμα 6: Ατυχήματα ανά τύπο ατυχήματος.....	33
Σχήμα 7: Κατανομή ατυχημάτων ανάλογα με το DWT .....	34
Σχήμα 8: Αναλυτική κατανομή ατυχημάτων συναρτήσει του DWT.....	40
Σχήμα 9: Αναλυτική κατανομή ατυχημάτων συναρτήσει της ηλικίας του πλοίου .....	45
Σχήμα 10: Ατυχήματα συναρτήσει της ηλικίας του πλοίου .....	50
Σχήμα 11: Κατανομή ατυχημάτων Collision συναρτήσει του DWT.....	51
Σχήμα 12: Κατανομή ατυχημάτων Collision συναρτήσει της ζώνης ατυχήματος.....	52
Σχήμα 13: Κατανομή ατυχημάτων Collision συναρτήσει της σημαίας .....	53
Σχήμα 14: Κατανομή ατυχημάτων Collision συναρτήσει της ηλικίας του πλοίου .....	54
Σχήμα 15: Κατανομή ατυχημάτων Contact συναρτήσει του DWT.....	55
Σχήμα 16: Κατανομή ατυχημάτων Contact συναρτήσει της ζώνης ατυχήματος.....	56
Σχήμα 17: Κατανομή ατυχημάτων Contact συναρτήσει της σημαίας .....	57
Σχήμα 18: Κατανομή ατυχημάτων Contact συναρτήσει της ηλικίας του πλοίου .....	58
Σχήμα 19: Κατανομή ατυχημάτων Wrecked/Stranded συναρτήσει του DWT .....	59
Σχήμα 20: Κατανομή ατυχημάτων Wrecked/Stranded συναρτήσει της ζώνης ατυχήματος.....	60
Σχήμα 21: Κατανομή ατυχημάτων Wrecked/Stranded συναρτήσει της σημαίας .....	61
Σχήμα 22: Κατανομή ατυχημάτων Wrecked/Stranded συναρτήσει της ηλικίας του πλοίου .....	62
Σχήμα 23: Κατανομή ατυχημάτων Hull/Mchy.Damage συναρτήσει του DWT .....	63
Σχήμα 24: Κατανομή ατυχημάτων Hull/Mchy.Damage συναρτήσει της ζώνης ατυχήματος .....	64
Σχήμα 25: Κατανομή ατυχημάτων Hull/Mchy.Damage συναρτήσει της σημαίας.....	65
Σχήμα 26: Κατανομή ατυχημάτων Hull/Mchy.Damage συναρτήσει της ηλικίας του πλοίου .....	66
Σχήμα 27: Κατανομή ατυχημάτων Fire/Explosion συναρτήσει του DWT .....	67
Σχήμα 28: Κατανομή ατυχημάτων Fire/Explosion συναρτήσει της ζώνης ατυχήματος .....	68
Σχήμα 29: Κατανομή ατυχημάτων Fire/Explosion συναρτήσει της σημαίας.....	69
Σχήμα 30: Κατανομή ατυχημάτων Fire/Explosion συναρτήσει της ηλικίας του πλοίου.....	70
Σχήμα 31: Συχνότητες Total Accidents ανά έτος συναρτήσει της ηλικίας .....	72
Σχήμα 32: Συχνότητες Collision ανά έτος συναρτήσει της ηλικίας .....	72
Σχήμα 33: Συχνότητες Contact ανά έτος συναρτήσει της ηλικίας .....	73
Σχήμα 34: Συχνότητες Wrecked/Stranded ανά έτος συναρτήσει της ηλικίας .....	73
Σχήμα 35: Συχνότητες Hull/Mchy.Damage ανά έτος συναρτήσει της ηλικίας.....	73
Σχήμα 36: Συχνότητες Fire/Explosion ανά έτος συναρτήσει της ηλικίας.....	74
Σχήμα 37: Συχνότητες Total Accidents ανά έτος συναρτήσει του DWT.....	75
Σχήμα 38: Συχνότητες Collision ανά έτος συναρτήσει του DWT.....	75
Σχήμα 39: Συχνότητες Contact ανά έτος συναρτήσει του DWT.....	76
Σχήμα 40: Συχνότητες Wrecked/Stranded ανά έτος συναρτήσει του DWT.....	76
Σχήμα 41: Συχνότητες Hull/Mchy.Damage ανά έτος συναρτήσει του DWT .....	76
Σχήμα 42: Συχνότητες Fire/Explosion ανά έτος συναρτήσει του DWT .....	77
Σχήμα 43: Μέθοδος "Average Silhouette" .....	90
Σχήμα 44: Διάγραμμα Παράλληλων Συντεταγμένων των κυρίαρχων τιμών .....	96
Σχήμα 45: Μεικτές μπάρες Clusters - Casualty Type.....	97
Σχήμα 46: Μεικτές μπάρες Clusters - DWT .....	97
Σχήμα 47: Μεικτές μπάρες Clusters – Age of Ship .....	98

Σχήμα 48: Μεικτές μπάρες Clusters – Flag .....	98
Σχήμα 49: Μεικτές μπάρες Clusters – Zone .....	99

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ**

Εικόνα 1: Δεξαμενές και είδη φορτίων του Marine Dow-Chem [7] .....	16
Εικόνα 2: Το Bow Pioneer [15].....	177
Εικόνα 3: Δεξαμενή φορτίου ενός chemical tanker [18].....	19
Εικόνα 4: Οι 3 τύποι δεξαμενών φορτίου των chemical tanker [19] .....	20
Εικόνα 5: Οι ‘SIS zones’ πάνω στον παγκόσμιο χάρτη [25] .....	311
Εικόνα 6: Συχνότητες από FSA [34] .....	788
Εικόνα 7: Στάδια ανακάλυψης γνώσης [37] .....	811
Εικόνα 8: Νευρωνικά Δίκτυα [41].....	822
Εικόνα 9: Δέντρο Απόφασης [42] .....	822
Εικόνα 10: Διαδικασία Clustering της παρούσας εργασίας .....	88
Εικόνα 11: Ο operator “Read Excel” .....	89
Εικόνα 12: Ο operator “Clustering(k-medoids)” .....	89
Εικόνα 13: Αποτέλεσμα του operator “Index” .....	922
Εικόνα 14: Αριθμητική απεικόνιση του μεγέθους των κλάσεων .....	922
Εικόνα 15: Γραφική απεικόνιση του μεγέθους των κλάσεων .....	933

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 1: Αναλυτική κατανομή ατυχημάτων συναρτήσει του DWT .....	40
Πίνακας 2: Αναλυτική κατανομή ατυχημάτων συναρτήσει της σημαίας .....	41
Πίνακας 3: Αναλυτική κατανομή ατυχημάτων συναρτήσει της ζώνης ατυχήματος.....	42
Πίνακας 4: Αναλυτική κατανομή ατυχημάτων συναρτήσει του έτους ατυχήματος.....	43
Πίνακας 5: Αναλυτική κατανομή ατυχημάτων συναρτήσει του έτους κατασκευής του πλοίου .....	44
Πίνακας 6: Αναλυτική κατανομή ατυχημάτων συναρτήσει της ηλικίας του πλοίου .....	45
Πίνακας 7: Τιμές $P_i$ και $\chi^2$ για όλα τα δεδομένα .....	46
Πίνακας 8: Κατανομή ατυχημάτων ανά κατηγορία ατυχήματος .....	49
Πίνακας 9: Τιμές Fleet at risk και αριθμός ατυχημάτων ανά έτος.....	71
Πίνακας 10: Τιμές του νέου $\chi^2$ .....	86
Πίνακας 11: Συνολικά στατιστικά στοιχεία και στατιστικά στοιχεία συσταδοποίησης.....	94

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η ασφαλής λειτουργία των πλοίων αποτελεί το σημαντικότερο σύγχρονο ναυτιλιακό μελέτημα, αφού καθορίζει τόσο την επιτυχή μεταφορά ανθρώπων και προϊόντων όσο και τη διατήρηση της περιβαλλοντικής ισορροπίας. Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελούν τα ναυτικά ατυχήματα σε πλοία μεταφοράς χημικών προϊόντων (chemical tankers), οι συνέπειες των οποίων μπορούν να αποβούν καταστροφικές τόσο για το ίδιο το πλοίο, όσο και για το πλήρωμα και το περιβάλλον.

Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ατυχημάτων που αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων της Sea Web, τα οποία ταξινομήθηκαν και αναλύθηκαν στατιστικά. Αρχικά, η στατιστική ανάλυση καθορίστηκε ως πραγματοποιήσιμη, μέσω της εφαρμογής της μεθόδου στατιστικού ελέγχου  $\chi^2$ , η οποία υπέδειξε υψηλή συσχέτιση των δεδομένων με τον τύπο του ατυχήματος. Στη συνέχεια, βάσει της στατιστικής ανάλυσης, παράχθηκαν διαγράμματα κατανομής ατυχημάτων και συχνοτήτων. Η μελέτη επικεντρώθηκε σε ατυχήματα που τοποθετούνται στη χρονική περίοδο 1997-2016, έτσι ώστε η ανάλυση και τα αποτελέσματα που αυτή εξάγει να μπορούν να έχουν συμβατότητα με πλοία που λειτουργούν σήμερα.

Τέλος, έγινε εφαρμογή ενός αλγορίθμου εξόρυξης δεδομένων (data mining). Για την εξόρυξη των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της Ανάλυσης Συστάδων (clustering).



## **ABSTRACT**

The safe operation of ships is the most important modern maritime study, since it determines both the successful transport of people and products and the preservation of the environmental balance. The subject of this research are marine accidents on chemical tankers, the consequences of which can be detrimental to the ship as well as to the crew and the environment.

We used accident data derived from the Sea Web database, which were sorted and statistically analyzed. Initially, the statistical analysis was determined to be achievable through the implementation of the  $X^2$  statistical control method, which indicated a high correlation of the data with the type of accident. Subsequently, based on the statistical analysis, accident and frequency distribution diagrams were produced. The study has focused on accidents that occurred between 1997 and 2016, so that the analysis and the results it exposes can be compatible with ships operating today.

Finally, a data mining algorithm was implemented. The data mining method that was used is clustering.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα κενή.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετώνται τα ατυχήματα πλοίων μεταφοράς χημικών προϊόντων. Πριν από τις πληροφορίες που δίνονται παρακάτω για αυτόν τον συγκεκριμένο τύπο πλοίων, κρίθηκε αναγκαίο να δοθεί ο ορισμός του ναυτικού ατυχήματος καθώς και ένα πλήθος διεθνών κανόνων και κανονισμών που διέπουν τη σχεδίαση ενός chemical tanker.

Σύμφωνα με το ψήφισμα A849 του IMO[1] περί υιοθέτησης του Κώδικα για την Διερεύνηση Ναυτικών Ατυχημάτων και Συμβάντων, ως ναυτικό ατύχημα (marine casualty) ορίζεται ένα γεγονός το οποίο προκαλεί:

- α) το θάνατο ή το σοβαρό τραυματισμό ατόμου που προκλήθηκε από, ή σε σχέση με τις λειτουργίες του πλοίου,
- β) την απώλεια προσώπου από το πλοίο που προκλήθηκε από, ή σε σχέση με τις λειτουργίες του πλοίου,
- γ) την απώλεια, τεκμαρτή απώλεια ή εγκατάλειψη πλοίου,
- δ) υλική ζημία στο πλοίο,
- ε) προσάραξη ή ανικανότητα πλοίου ή την εμπλοκή του σε σύγκρουση,
- στ) υλική ζημιά που προήλθε από, ή σε σχέση με τις λειτουργίες του πλοίου,
- ζ) ζημιά στο περιβάλλον που συνέβη από τη βλάβη πλοίου και που προκλήθηκε από, ή σε σχέση με τις λειτουργίες του πλοίου.

Πολύ σοβαρό ατύχημα θεωρείται αυτό που έχει ως αποτέλεσμα απώλεια του πλοίου ή απώλεια ζωής ή σοβαρή περιβαλλοντική ρύπανση(καθώς και συνδυασμό αυτών).

Σοβαρό ατύχημα θεωρείται αυτό που περιλαμβάνει πυρκαγιά ή έκρηξη ή προσάραξη ή πρόσκρουση ή βαριά ζημιά λόγω καιρού ή ρήγματα, με αποτέλεσμα ζημιές στο πλοίο που το καθιστούν αναξιόπλοο(π.χ. ρύπανση, ανάγκη ρυμουλκήσεως ή βοήθειας από την ξηρά).

Η ασφαλής μεταφορά χημικών φορτίων μέσω των δεξαμενόπλοιων χημικών προϊόντων εξαρτάται από έναν μεγάλο αριθμό παραμέτρων και αλληλεπιδράσεων αυτών. Επομένως, πριν φορτωθεί η οποιαδήποτε χημική ουσία είναι πολύ σημαντικό να μελετάται και να επιλύεται οποιοδήποτε ζήτημα μπορεί να προκύψει, είτε αυτό έχει να κάνει με τη σχεδίαση του πλοίου και του εξοπλισμού, είτε με τις ιδιότητες του μεταφερόμενου φορτίου και την τεχνογνωσία των χειριστών του. Άρα, γίνεται φανερό ότι η σχεδίαση ενός chemical tanker διέπεται από ένα πλήθος διεθνών κανόνων και κανονισμών. Οι ακόλουθες δημοσιεύσεις παρέχουν χρήσιμες οδηγίες για τη μεταφορά επικίνδυνων χημικών ουσιών στη θάλασσα[2]:

## KANONISMΟΙ:

- SOLAS Chapter VII - Carriage of dangerous goods
- MARPOL Annex II - Regulations for the Control of Pollution by Noxious Liquid Substances in Bulk
- BCH / IBC Code
- IMDG Code
- Supplement to IMDG Code (Including MFAG and Ems)
- SOPEP
- FOSFA (for Oils, Seeds and Fats)

## GUIDELINES:

- International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals (ISGOTT)
- Tanker Safety Guide (Chemicals)
- Ship to Ship Transfer Guide (Petroleum)
- CHRIS Guide (USCG)
- Chemical Data Guide for Bulk Shipment by Water (Condensed Chris)
- Clean Seas Guide for Oil Tankers
- Chemical Tank Cleaning Guide
- MSDS for particular cargo carried

## BEST PRACTICES:

- Prevention of Oil Spillage through Cargo Pumproom Sea Valves

## **1.1. Γενικές πληροφορίες**

Τα δεξαμενόπλοια μεταφοράς χημικών προϊόντων(chemical tankers) αποτελούν έναν τύπο δεξαμενόπλοιου που έχει σχεδιαστεί για τη μεταφορά χύδην υγρών χημικών φορτίων. Εκτός από τα επικίνδυνα για το περιβάλλον βιομηχανικά χημικά προϊόντα και τα καθαρά προϊόντα πετρελαίου, τα πλοία αυτά συχνά μεταφέρουν και άλλα είδη ευαίσθητων φορτίων που απαιτούν υψηλό επίπεδο καθαρισμού των δεξαμενών, όπως το φοινικέλαιο, τα φυτικά έλαια, το λίπος και τη μεθανόλη[3]. Είναι, γενικά, παρόμοια με άλλα είδη δεξαμενόπλοιων, όπως πετρελαιοφόρα ή δεξαμενόπλοια μεταφοράς υγροποιημένου αερίου. Ωστόσο, παρουσιάζουν ορισμένα μοναδικά χαρακτηριστικά, όπως σχετικά μικρό μέγεθος, μεγάλο αριθμό δεξαμενών φορτίου και μεγάλη ποικιλία συστημάτων διαχείρισης και επεξεργασίας φορτίου[4]. Κυμαίνονται σε μέγεθος από 5.000 τόνους νεκρού βάρους (DWT) έως 40.000 DWT, το οποίο είναι μικρότερο από το μέσο μέγεθος άλλων τύπων δεξαμενόπλοιων, λόγω της εξειδικευμένης φύσης του φορτίου τους και των περιορισμών μεγέθους των λιμένων όπου καλούνται να φορτοεκφορτώσουν[5].

Γενικά, τα πλοία που μεταφέρουν χύδην χημικά προϊόντα ταξινομούνται από τον IMO σε τρεις τύπους[6]:

A)Τύπος 1: Τα πλοία τύπου 1 είναι χημικά δεξαμενόπλοια που προορίζονται να μεταφέρουν προϊόντα του κεφαλαίου 17 του Κώδικα IBC, προϊόντα με πολύ σοβαρούς κινδύνους για το

περιβάλλον και την ασφάλεια. Απαιτούνται τα μέγιστα προληπτικά μέτρα ώστε να αποφευχθεί η διαφυγή τέτοιων φορτίων.

Β) Τύπος 2: Τα πλοία τύπου 2 είναι χημικά δεξαμενόπλοια που προορίζονται να μεταφέρουν προϊόντα του κεφαλαίου 17 του Κώδικα IBC, προϊόντα με αισθητά σοβαρούς κινδύνους για το περιβάλλον και την ασφάλεια. Απαιτούνται σημαντικά προληπτικά μέτρα ώστε να αποφευχθεί η διαφυγή τέτοιων φορτίων.

Γ) Τύπος 3: Τα πλοία τύπου 3 είναι χημικά δεξαμενόπλοια που προορίζονται να μεταφέρουν προϊόντα του κεφαλαίου 17 του Κώδικα IBC, προϊόντα με επαρκώς σοβαρούς κινδύνους για το περιβάλλον και την ασφάλεια. Απαιτείται μέτριος βαθμός προληπτικών μέτρων, ώστε να διασφαλίζεται η ικανότητα επιβίωσης του πλοίου σε περίπτωση ατυχήματος.

Εκτιμάται από τον IMO ότι τα περισσότερα chemical tankers εμπíπτουν στις κατηγορίες 2 και 3, δεδομένου ότι ο όγκος των φορτίων του τύπου 1 είναι πολύ περιορισμένος[3].

Τα είδη φορτίων των chemical tankers μπορούν να διαιρεθούν σε τέσσερις κατηγορίες:

α) Πετροχημικά: Αυτή είναι η συλλογική ονομασία των οργανικών χημικών ουσιών που προέρχονται από το αργό πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και τον άνθρακα. Αυτές οι οργανικές χημικές ουσίες παράγονται από ζωντανούς ή κάποτε ζωντανούς οργανισμούς, πετρέλαιο και φυσικό αέριο (θαλάσσια ζώα και φυτά) και άνθρακα (φυτά). Ο όρος όμως δεν περιλαμβάνει τις απλούστερες ενώσεις άνθρακα όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το μονοξείδιο του άνθρακα και τα ανθρακικά άλατα.

β) Αλκοόλες και υδατάνθρακες: Οι αλκοόλες μπορεί να προέρχονται από υδρογονάνθρακες ή να παράγονται με ζύμωση.

γ) Φυτικά και ζωικά έλαια και λίπη: Προέρχονται από τους σπόρους των φυτών και από το λίπος των ζώων και των ψαριών.

δ) Οξέα και ανόργανα χημικά: Οι ανόργανες χημικές ουσίες είναι αυτές που δεν παράγονται από ζωντανούς ή κάποτε ζωντανούς οργανισμούς. Ωστόσο, ένας αριθμός ανόργανων χημικών ουσιών όπως το θείο και η αμμωνία μπορούν να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας πετρέλαιο ως πρώτη ύλη. Τα οξέα μπορεί να είναι οργανικά ή ανόργανα[7].

Τα chemical tanker συνήθως διαθέτουν μια σειρά διαδοχικών δεξαμενών φορτίου, οι οποίες είτε είναι εμποτισμένες με εξειδικευμένες επικαλύψεις, όπως φαινολική εποξική βαφή ή βαφή ψευδαργύρου, είτε είναι κατασκευασμένες από ανοξείδωτο χάλυβα. Το υλικό της επίστρωσης μιας δεξαμενής φορτίου καθορίζει ποιους τύπους φορτίων μπορεί να μεταφέρει η συγκεκριμένη δεξαμενή. Πιο συγκεκριμένα, για φορτία επιθετικών οξέων - όπως θειικό και φωσφορικό οξύ - απαιτούνται δεξαμενές από ανοξείδωτο χάλυβα, ενώ τα «ευκολότερα» φορτία - όπως τα φυτικά έλαια - μπορούν να μεταφερθούν σε εποξικά βαμμένες δεξαμενές. Η επίστρωση και το υλικό της δεξαμενής επηρεάζουν επίσης το πόσο γρήγορα μπορούν να καθαριστούν οι δεξαμενές. Τυπικά, τα πλοία με δεξαμενές από ανοξείδωτο χάλυβα μπορούν να μεταφέρουν ένα ευρύτερο φάσμα φορτίων και να καθαρίζονται ταχύτερα, γεγονός που δικαιολογεί το πρόσθετο κόστος κατασκευής τους[3]. Συμπερασματικά, ο σχεδιασμός ενός

δεξαμενόπλοιου χημικών προϊόντων διέπεται από ένα ευρύ σύνολο κανόνων και κανονισμών που διασφαλίζουν ότι επιτυγχάνεται επαρκές επίπεδο ασφάλειας και αντοχής της κατασκευής. Επιπλέον, ο σχεδιασμός τους ακολουθεί τη συμβατική διαδικασία και τις μεθόδους σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται για όλους τους τύπους εμπορικών πλοίων[4].

## **1.2. Ιστορική εξέλιξη**

Τα δεξαμενόπλοια μεταφοράς χημικών προϊόντων έχουν τις ρίζες τους στα τέλη της δεκαετίας του 1940 και στις αρχές της δεκαετίας του 1950. Τα πρώτα chemical tankers αναπτύχθηκαν για να καλύψουν τις ανάγκες της αναπτυσσόμενης πετροχημικής βιομηχανίας στις ακτές του Κόλπου των Ηνωμένων Πολιτειών[8].

Πριν από τη δεκαετία του 1920 - και στην πραγματικότητα και μετά - οι χημικοί κατασκευαστές βασιζόνταν στις παραδοσιακές πρώτες ύλες όπως η ζωική και φυτική ύλη. Ωστόσο, η σημαντική χρήση υδρογονανθράκων ως πρώτων υλών για τη σύνθεση οργανικών χημικών ουσιών ξεκίνησε στις ΗΠΑ περίπου τότε. Τα αέρια πυρόλυσης, πλούσια σε ολεφίνες (αιθυλένιο, προπυλένιο και βουτυλένιο) θεωρήθηκαν αρχικά ως παραπροϊόντα διύλισης πετρελαίου, αλλά από τη δεκαετία του 1920 διαπιστώθηκε ότι θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν επικερδώς ως πρώτη ύλη στη χημική βιομηχανία.

Αρχικά, τα φορτία των χημικών εργοστασίων μεταφέρονταν οδικώς και σιδηροδρομικώς σε βαρέλια ή σε φορητές δεξαμενές. Οι συσκευασμένες χημικές ουσίες μεταφέρονταν επίσης σε δεξαμενές συμβατικών πλοίων, μέσω ποταμών και θαλασσών.

Καθ' όλη τη διάρκεια της δεκαετίας του 1950 η ζήτηση για χημικές ουσίες αυξήθηκε με γοργούς ρυθμούς και χρειάστηκαν πιο περίπλοκα μέσα μεταφοράς. Για κάποιο χρονικό διάστημα οι δεξαμενές αποθήκευσης πρόσθετης ποσότητας καυσίμων των πλοίων ξηρού φορτίου μπορούσαν να συμπληρώσουν τις υπάρχουσες μεθόδους μεταφοράς, αλλά η εμφάνιση νέων επικίνδυνων χημικών ουσιών που έπρεπε να μεταφερθούν σε μεγάλες ποσότητες κατέστησε σαφές ότι απαιτείται ένας νέος τύπος πλοίου.

Το πλεόνασμα των δεξαμενόπλοιων T2, που υπήρχε από τα χρόνια του πολέμου, εξασφάλισε μεγάλο αριθμό πλοίων που θα μπορούσαν να τροποποιηθούν για να χρησιμοποιηθούν στη μεταφορά χημικών προϊόντων σε μεγάλη κλίμακα. Η μετατροπή τέτοιων σκαφών δεν ήταν τεχνολογικά δύσκολη, αλλά ήταν απαραίτητη για να επιτευχθεί ο διαχωρισμός των φορτίων. Οι εργασίες μετατροπής περιελάμβαναν συνήθως την προσθήκη φρακτών (ώστε να διατίθενται περισσότερες και μικρότερες δεξαμενές), την επέκταση του δικτύου σωληνώσεων και την εγκατάσταση πρόσθετων αντλιών φορτίου[9].

Εφόσον κατανοήθηκε η σημασία που είχε ο διαχωρισμός των φορτίων, έγιναν μετατροπές στις δεξαμενές που επέτρεψαν την ταυτόχρονη μεταφορά αρκετών επικίνδυνων και ασυμβίβαστων φορτίων. Το πρώτο πλοίο που τροποποιήθηκε ήταν το 9.073 GT R.E. Wilson, από την εταιρεία Union Carbide και Carbon Corp. Το 1948, το πλοίο αυτό εξοπλίστηκε με διπλό πυθμένα και αντλίες Deerwell, που αποτελούσαν καινοτομία για τέτοια πλοία εκείνη την εποχή. Οι κεντρικές δεξαμενές του πλοίου επέτρεψαν τη μεταφορά εννέα διαφορετικών

χημικών προϊόντων, ενώ τα πετρελαιοειδή μέτριας πυκνότητας, όπως η κηροζίνη, μπορούσαν να μεταφερθούν στις πλευρικές δεξαμενές. Το πλοίο τέθηκε σε λειτουργία τον Ιανουάριο του 1949 και εκτελούσε τακτικά δρομολόγια από τα λιμάνια του κόλπου προς τη Νέα Υόρκη. Σταμάτησε να χρησιμοποιείται το 1971[10].

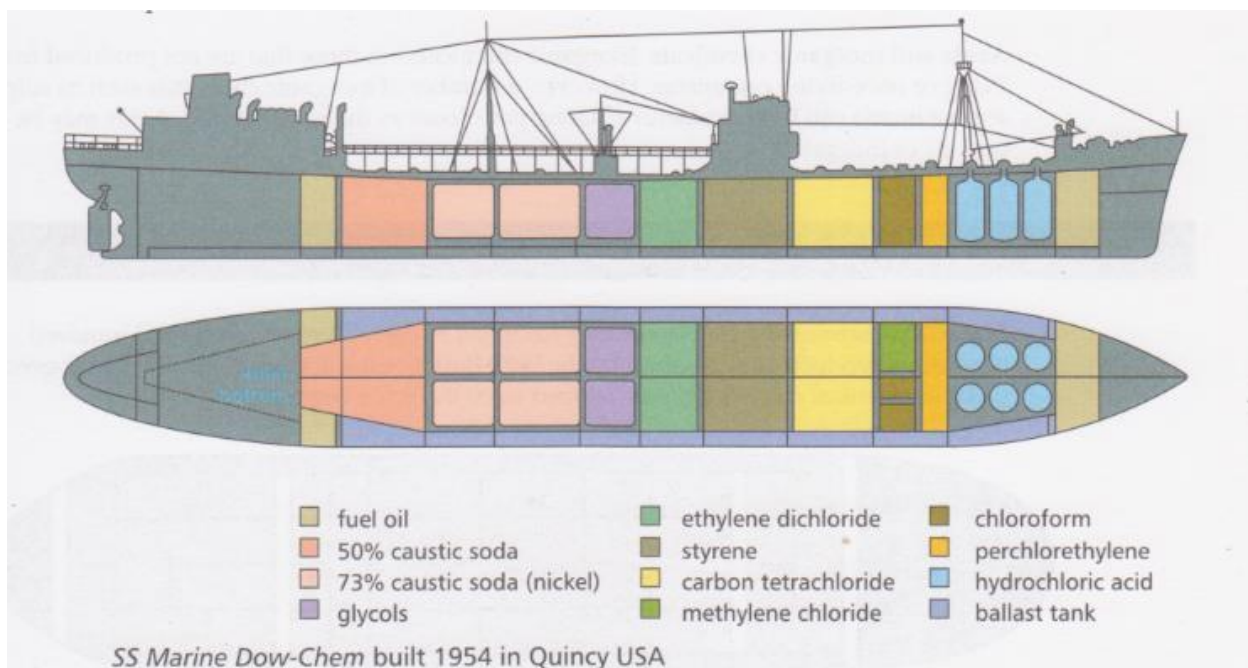
Εκτός από τα τροποποιημένα, σχετικά μεγάλα, δεξαμενόπλοια μεταφοράς χημικών προϊόντων, κατασκευάστηκαν κατά τις αρχές της δεκαετίας του 1950 και μικρότερα δεξαμενόπλοια ,ειδικά σχεδιασμένα για τη μεταφορά "οξέων" - π.χ. θειικό οξύ,. Οι δεξαμενές φορτίου των πλοίων αυτών κατασκευάστηκαν από ειδικά κράματα χάλυβα και ενισχύθηκαν για πυκνότητες φορτίου μέχρι 2,0 kg / l.

Στην Ολλανδία, οι αδελφοί Broere έθεσαν το πρώτο τους δεξαμενόπλοιο χημικών προϊόντων, μόλις 400 dwt, σε λειτουργία τον Οκτώβριο του 1949, μεταφέροντας φορτία των ΗΠΑ σε λιμάνια της Βόρειας Θάλασσας. Το 1954 ακολούθησε το Elizabeth Broere 2.880 dwt. Ωστόσο, αυτά τα μικρά πλοία δεν ήταν ικανά να ανταγωνιστούν τα πολύ μεγαλύτερα τροποποιημένα πετρελαιοφόρα.

Το εμπόριο χημικών προϊόντων δημιουργήθηκε ουσιαστικά με τη λειτουργία των τροποποιημένων φορτηγών πλοίων και πετρελαιοφόρων. Τα φορτία μπορούσαν να έχουν μέγεθος που κυμαινόταν από μερικές εκατοντάδες έως μερικές χιλιάδες τόνους το καθένα, να περιλαμβάνουν ένα ευρύ πλήθος προϊόντων και να φορτοεκφορτώνονται σε οποιοδήποτε λιμάνι βρισκόταν κατά μήκος της διαδρομής που εκτελούσε το πλοίο που τα μετέφερε.

Ενώ το πλεόνασμα σε δεξαμενόπλοια T2 και φορτηγά πλοία C4 αποτέλεσαν το έναυσμα για τη μετατροπή πλοίων σε δεξαμενόπλοια χημικών προϊόντων, η κρίση στο Σουέζ το 1956 είχε ως αποτέλεσμα το κλείσιμο του καναλιού του Σουέζ το 1957. Τα δεξαμενόπλοια πετρελαιοειδών της εποχής εκείνης κατέληξαν μη ανταγωνιστικά, αφού τα μεγαλύτερα και νεότερα σκάφη είχαν καλύτερες προδιαγραφές να πλέουν γύρω από Ακρωτήριο της Καλής Ελπίδας. Οι ιδιοκτήτες αυτού του πλεονάζοντος πληθυσμού πλοίων ήταν πρόθυμοι να επενδύσουν σε μετατροπές προκειμένου να αποφευχθεί ο παροπλισμός τους και να εξασφαλιστεί η χρησιμοποίησή τους. Η μετατροπή των δεξαμενόπλοιων συνεπαγόταν συνήθως την προσθήκη μερικών φρακτών για την δημιουργία μικρότερων δεξαμενών, την επικάλυψη ορισμένων δεξαμενών με πυριτικό ψευδάργυρο, την εγκατάσταση πρόσθετων αντλιών και αγωγών για διαχωρισμό του φορτίου και, εάν ήταν απαραίτητο, την προσθήκη ενός δεύτερου αντλιοστασίου.

Το πρώτο δεξαμενόπλοιο που σχεδιάστηκε ειδικά για τη μεταφορά χύδην χημικών ουσιών ήταν το Marine Dow-Chem, ένα πλοίο με 2 προπέλες που λειτουργούσε με ατμοστρόβιλο και κατασκευάστηκε το 1954 στις ΗΠΑ[11]. Το πλοίο είχε διπλές φρακτές διαχωρισμού των δεξαμενών, η καθεμία με ξεχωριστά συστήματα μεταφοράς, σωλήνες και συνδέσεις. Συνήθως μετέφερε έντεκα χημικά φορτία με διαφορετικά χαρακτηριστικά, από τα εργοστάσια της εταιρείας Dow στο Τέξας μέχρι τα λιμάνια των ΗΠΑ, την Καραϊβική και την Κεντρική και Νότια Αμερική. Με μήκος 168 μέτρα το Marine Dow Chem ήταν ικανό να μεταφέρει 16.000 τόνους χημικών ουσιών στις ειδικά σχεδιασμένες δεξαμενές του[9]. Οι δεξαμενές και τα είδη φορτίων του Marine Dow-Chem παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1: Δεξαμενές και είδη φορτίων του Marine Dow-Chem [7]

Τα μεταγενέστερα chemical tankers ενσωμάτωναν όλα τα χαρακτηριστικά των πρώτων δεξαμενόπλοιων καθώς και μερικά ακόμη. Περιελάμβαναν περισσότερες φρακτές ώστε να διαθέτουν πάνω από 40 δεξαμενές. Εκτός από τις επικαλύψεις, τοποθετήθηκαν δεξαμενές από ανοξείδωτο χάλυβα σε πολλά πλοία, επιτρέποντάς τους να μεταφέρουν διαβρωτικά φορτία ή φορτία που απαιτούν υψηλό βαθμό καθαρότητας προϊόντος.

Οι δεξαμενές από ανοξείδωτο χάλυβα ήταν δαπανηρές, αλλά προσέφεραν σχετικά εύκολο καθαρισμό και επέτρεψαν τη μεταφορά πολλών φορτίων που δεν μπορούσαν να μεταφερθούν σε συμβατικές, επικαλυμμένες λεπτές δεξαμενές. Το πρώτο δεξαμενόπλοιο εξοπλισμένο με δεξαμενές φορτίου από ανοξείδωτο χάλυβα ήταν το Νορβηγική M / T Lind, που παραδόθηκε το 1960.

Τα επόμενα σαράντα χρόνια η βιομηχανία μεταφοράς χημικών προϊόντων εξακολούθησε να αναπτύσσεται και να εξελίσσεται. Οι τροποποιήσεις βασίστηκαν στις ανάγκες των φορτίων καθώς και στην επιθυμία των πλοιοκτητών για αποδοτικότερη λειτουργία των σκαφών. Αυτές οι τροποποιήσεις αναπτύχθηκαν μέσα από την κοινή προσπάθεια και τη συνεργασία πλοιοκτητών, χειριστών, σχεδιαστών, κατασκευαστών εξοπλισμού, ναυπηγείων και νηογνωμόνων. Επιπλέον, ο αυξανόμενος αριθμός διεθνών κανονισμών για το σχεδιασμό και τις λειτουργίες του πλοίου παρείχε πρόσθετη ώθηση[8].

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 ο διεθνής έλεγχος των χύδην φορτίων χημικών προϊόντων είχε καθοριστεί εκ των πραγμάτων από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Συμβουλευτικό Οργανισμό (IMCO) που υποστηρίχθηκε από τα Ηνωμένα Έθνη. Η IMCO είχε δημοσιεύσει ένα Bulk Chemical Code για την κατασκευή και τον εξοπλισμό πλοίων που μεταφέρουν χύδην επικίνδυνες χημικές ουσίες. Ο κώδικας εφαρμόστηκε σε όλα τα πλοία που κατασκευάστηκαν ή



μεταποιήθηκαν μετά τον Απρίλιο του 1972. Επιπλέον, μετά από μια εξαετή περίοδο χάριτος, ο κώδικας επεκτάθηκε ώστε να συμπεριλάβει όλα τα λειτουργικά chemical carriers.

Έτσι, τα δεξαμενόπλοια μεταφοράς χημικών προϊόντων υποχρεώθηκαν να υιοθετήσουν πολλές τεχνολογικές καινοτομίες με σκοπό την ασφάλεια και την προστασία του περιβάλλοντος. Πράγματι, τα σύγχρονα chemical tankers ήταν εξοπλισμένα με συστήματα ελέγχου δεξαμενών φορτίου και απελευθέρωσης αερίων, προγράμματα περιβαλλοντικού ελέγχου των φορτίων, μοντέρνες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, μηχανισμούς πυροπροστασίας και πυρόσβεσης[9].

Ένα δεξαμενόπλοιο μεταφοράς χημικών προϊόντων είναι σημαντικά μικρότερο από το μέσο δεξαμενόπλοιο(πετρελαιοφόρο ή product tanker) λόγω των συνήθως μικρότερων ποσοτήτων χημικού φορτίου και μερικές φορές πολύ μικρότερων λιμένων όπου το πλοίο φορτώνει ή εκφορτώνει[12]. Παρ' όλα αυτά, τα τελευταία χρόνια κατασκευάστηκαν σχετικά μεγαλύτερα πλοία. Το μεγαλύτερο γνωστό chemical tanker είναι το Bow Pioneer που παραδόθηκε τον Απρίλιο του 2013 στο Daewoo της Κορέας και αντιπροσωπεύει μια νέα εξέλιξη στον κλάδο των δεξαμενόπλοιων χημικών προϊόντων. Το Bow Pioneer έχει 75.000 DWT [13] και φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2: Το Bow Pioneer [14]

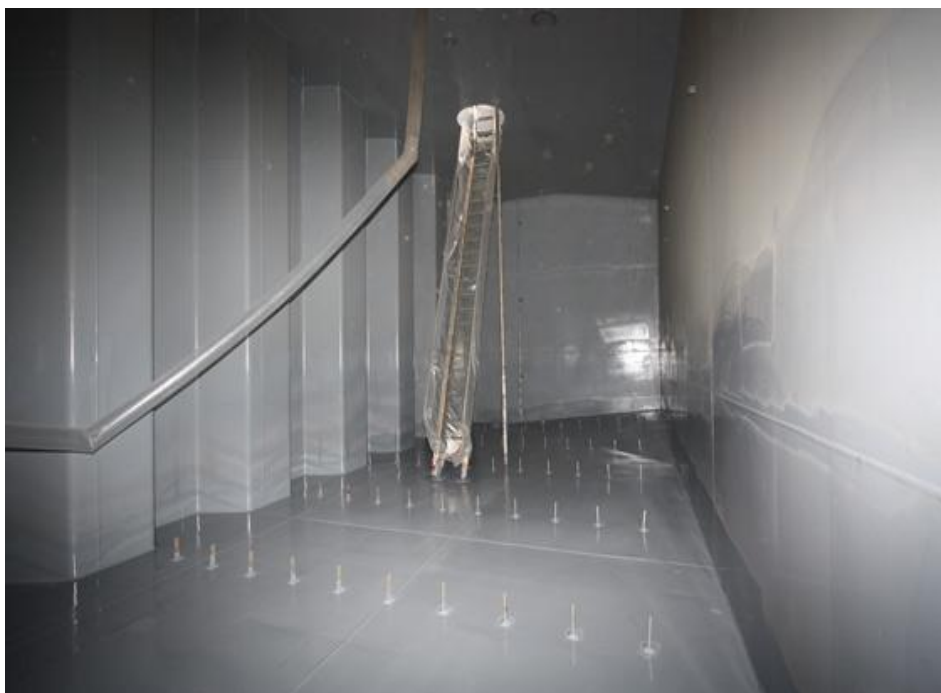
### **1.3. Συστήματα φορτίου**

Τα συστήματα φορτίου των chemical tanker είναι ουσιαστικά το χαρακτηριστικό εκείνο που τα διαφοροποιεί από τα product tanker και τα oil tanker. Μαζί με τη διάταξη των δεξαμενών φορτίου και τα συστήματα ασφαλείας, τα συστήματα φορτίου καθορίζουν τα προϊόντα που μπορεί ή δεν μπορεί να μεταφέρει ένα σκάφος. Το σύστημα φορτίου ενός χημικού δεξαμενόπλοιου περιλαμβάνει δεξαμενές, συστήματα αντλιών, σωληνώσεις, συστήματα εξαερισμού, συστήματα παρακολούθησης φορτίου, συστήματα περιβαλλοντικού ελέγχου και συστήματα καθαρισμού δεξαμενών[15]. Αξίζει να σημειωθεί, ότι τα φορτία που αντιδρούν κατά τρόπο επικίνδυνο με άλλα φορτία θα πρέπει να διαχωρίζονται μεταξύ τους μέσω ενός κενού χώρου, μιας κενής δεξαμενής ή μιας δεξαμενής που περιέχει αμοιβαία συμβατό φορτίο[4].

#### **1.3.1. Δεξαμενές φορτίου**

Ο σχεδιασμός των δεξαμενών φορτίου των chemical tanker επηρεάζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τα φορτία που πρόκειται να μεταφέρουν. Τα φορτία χαρακτηρίζονται από διάφορες χημικές ιδιότητες, οι οποίες είναι πολύ καθοριστικές για την ασφαλή μεταφορά τους, και μπορούν να αποτελέσουν μεγάλη απειλή για τους ανθρώπους, το περιβάλλον ή το ίδιο το πλοίο, αν δεν αντιμετωπιστούν με σωστό τρόπο. Για το λόγο αυτό, ο σχεδιασμός των δεξαμενών φορτίου ενός chemical tanker είναι ένα πολύ περίπλοκο ζήτημα, τόσο από άποψη δομικού σχεδιασμού και διαμόρφωσης, όσο και κατά την επιλογή των υλικών και επιχρισμάτων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν.

Όταν έρχονται σε επαφή δύο διαφορετικά χημικά προϊόντα, υπάρχει πιθανότητα να αντιδράσουν με έναν ανεπιθύμητο και κατά πάσα πιθανότητα επικίνδυνο τρόπο. Για το λόγο αυτό, οι δεξαμενές φορτίου πρέπει να καθαρίζονται σωστά, ώστε να αφαιρούνται όλα τα υπολείμματα από το προηγούμενο φορτίο πριν φορτωθεί το νέο φορτίο. Αυτή η αφαίρεση δεν ευνοείται καθόλου από την ύπαρξη ενσωματωμένων δομικών στοιχείων στη δεξαμενή, όπως τα ενισχυτικά και οι δοκοί. Για αυτό οι δεξαμενές φορτίου στα δεξαμενόπλοια χημικών προϊόντων είναι εντελώς απαλλαγμένες από εσωτερικά δομικά στοιχεία και η στήριξή τους εξασφαλίζεται μέσω δοκών και ενισχυτικών εξωτερικά του χώρου φορτίου[16]. Στην εικόνα 3, φαίνεται μια δεξαμενή φορτίου ενός chemical tanker.



Εικόνα 3: Δεξαμενή φορτίου ενός chemical tanker [17]

Τα χημικά δεξαμενόπλοια μπορεί να διαθέτουν διαφορετικούς τύπους δεξαμενών φορτίου, ανάλογα με το φορτίο που θα περιέχει κάθε δεξαμενή. Υπάρχουν τρεις τύποι δεξαμενών φορτίου που περιγράφονται στον Κώδικα IBC ως εξής[16]:

1. Ανεξάρτητη - Βαρύτητας (1G)
2. Ανεξάρτητη - Πίεσης (1P)
3. Ενσωματωμένη - Βαρύτητας (2G)

Τα όρια μιας ανεξάρτητης δεξαμενής δεν αποτελούν μέρος της δομής της γάστρας και ως εκ τούτου δεν συμβάλλουν στη δομική αντοχή του σκάφους. Οι ανεξάρτητες δεξαμενές έχουν σχεδιαστεί για να εξαλείφονται οι τάσεις που μεταφέρονται από τη γάστρα στη δεξαμενή.

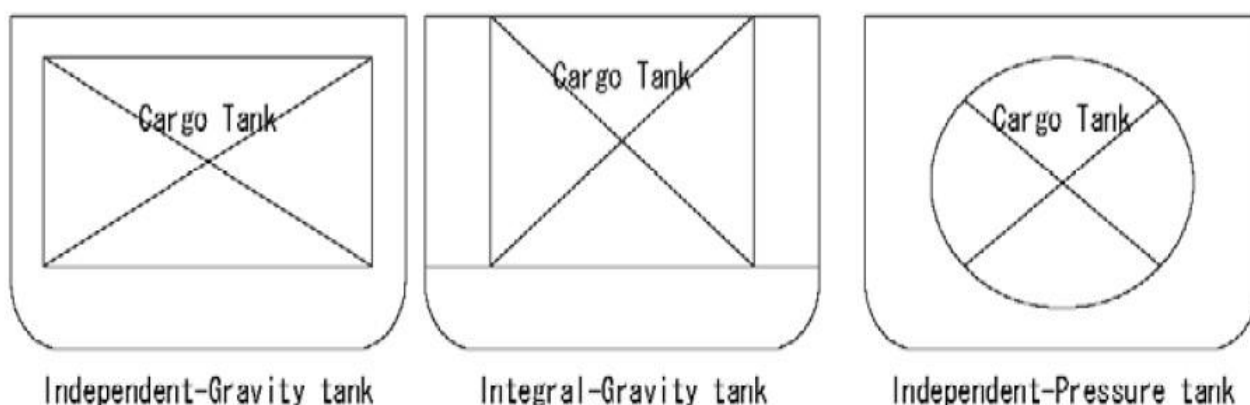
Από την άλλη πλευρά, τα όρια μιας ενσωματωμένης δεξαμενής σχηματίζονται από τη δομή της γάστρας. Η υποδιαίρεση της γάστρας στην περιοχή του φορτίου δημιουργεί ενσωματωμένες δεξαμενές. Οι ενσωματωμένες δεξαμενές είναι ο πιο κοινός τύπος δεξαμενής που χρησιμοποιείται στα chemical tankers.

Οι δεξαμενές βαρύτητας έχουν σχεδιαστεί για μέγιστη πίεση 0,7 bar στο επάνω μέρος της δεξαμενής και μπορούν να είναι είτε ενσωματωμένες είτε ανεξάρτητες. Από την άλλη πλευρά, οι δεξαμενές πίεσης έχουν σχεδιαστεί για πίεση μεγαλύτερη από 0,7 bar και μπορούν να είναι μόνο ανεξάρτητες.

Οι ενσωματωμένες δεξαμενές - και ειδικότερα οι δεξαμενές βαρύτητας - είναι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες στα chemical tankers σε σχέση με τις ανεξάρτητες, καθώς καλύπτουν τις προδιαγραφές μεταφοράς του μεγαλύτερου μέρους των φορτίων του κώδικα IBC. Οι δεξαμενές πίεσης χρησιμοποιούνται λιγότερο συχνά.

Τα τοιχώματα τόσο των ενσωματωμένων όσο και των ανεξάρτητων δεξαμενών φορτίου μπορούν να κατασκευαστούν από ανοξείδωτο ή από επικαλυμμένο μαλακό χάλυβα. Οι επικαλύψεις των δεξαμενών φορτίου που χρησιμοποιούνται σε δεξαμενόπλοια χημικών προϊόντων είναι κυρίως εποξικές ή ψευδαργυρικού πυριτίου. Υπάρχουν ορισμένα φορτία που είναι ασυμβίβαστα και δεν μπορούν να μεταφέρονται σε δεξαμενές από ανοξείδωτο χάλυβα, αλλά μπορούν να αποθηκευτούν σε επικαλυμμένες δεξαμενές. Ωστόσο, οι δεξαμενές από ανοξείδωτο χάλυβα είναι ευκολότερο να καθαριστούν μετά την εκφόρτωση των χημικών[15].

Η εικόνα 4 παρουσιάζει τους τρεις τύπους δεξαμενών φορτίου που περιγράφηκαν παραπάνω.



Εικόνα 4: Οι 3 τύποι δεξαμενών φορτίου των chemical tanker [18]

### **1.3.2. Συστήματα άντλησης φορτίου και σωληνώσεων**

Τα συστήματα άντλησης φορτίου και σωληνώσεων είναι τα κύρια συστήματα που καθορίζουν της λειτουργική ευελιξία ενός σκάφους. Παρόλο που ο κώδικας IBC επιτρέπει την ύπαρξη αντλιοστασίων φορτίου και κοινά συστήματα σωληνώσεων, αυτά τα χαρακτηριστικά δεν χρησιμοποιούνται πλέον στα σύγχρονα δεξαμενόπλοια χημικών. Ένα σύγχρονο chemical tanker βασίζεται στον πλήρη διαχωρισμό των φορτίων. Κάθε δεξαμενή φορτίου και τα παρελκόμενα συστήματά της είναι ανεξάρτητα από τις άλλες δεξαμενές φορτίου του σκάφους. Κλειδί όσον αφορά το διαχωρισμό αυτό είναι οι αντλίες φορτίου Deerwell. Όπως υποδηλώνει το όνομα, μια αντλία Deerwell είναι βυθισμένη στο ρευστό που αντλεί, με τη φτερωτή της τοποθετημένη στην κορυφή της δεξαμενής. Οι αντλίες φορτίου Deerwell είναι φυγοκεντρικού τύπου και κινούνται, είτε από έναν υδραυλικό κινητήρα τοποθετημένο στη δεξαμενή με τη φτερωτή, είτε από έναν ηλεκτροκινητήρα ο οποίος κινεί έναν άξονα που τρέχει από το κατάστρωμα μέχρι τη φτερωτή της δεξαμενής.

Οι αντλίες υδραυλικής κίνησης αυτού του τύπου είναι πιο δημοφιλείς στα δεξαμενόπλοια μεταφοράς χημικών προϊόντων από τις ηλεκτροκίνητες αντλίες. Δεδομένου ότι οι φυγοκεντρικές αντλίες δεν αντλούν καλά τα φορτία υψηλού ιξώδους, τα πλοία που έχουν φυγοκεντρικές αντλίες φορτίου και μεταφέρουν φορτία υψηλού ιξώδους, όπως η μελάσα,

είναι συνήθως εξοπλισμένα με ενισχυτική αντλία η οποία είναι τοποθετημένη στο κατάστρωμα για να βοηθάει και να επιταχύνει τη διαδικασία εκκένωσης. Αυτές οι ενισχυτικές αντλίες είναι τις περισσότερες φορές βιδωτές[15].

### **1.3.3. Συστήματα εξαερισμού φορτίου**

Όπως ορίζεται στον κώδικα IBC, όλες οι δεξαμενές φορτίου ενός δεξαμενόπλοιου χημικών θα πρέπει να διαθέτουν κατάλληλο σύστημα εξαερισμού ανάλογα με το φορτίο που μεταφέρεται. Τα συστήματα αυτά πρέπει να είναι ανεξάρτητα από τους αγωγούς αέρα και τα συστήματα εξαερισμού όλων των άλλων διαμερισμάτων του πλοίου. Πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα συσσώρευσης ατμών φορτίου γύρω από τα καταστρώματα, τις εισόδους σε χώρους καταλύματος, μηχανοστασίου και σταθμών ελέγχου και, στην περίπτωση εύφλεκτων ατμών, τις εισόδους σε χώρους που περιέχουν πηγές ανάφλεξης. Επιπλέον, πρέπει να είναι διαρρυθμισμένα έτσι ώστε να αποφεύγεται η είσοδος νερού στις δεξαμενές φορτίου και ταυτόχρονα οι έξοδοι εξαερισμού να κατευθύνουν την εκροή ατμού προς τα πάνω.

Το σύστημα εξαερισμού της δεξαμενής φορτίου ενός δεξαμενόπλοιου χημικών πρέπει να σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εμποδίζει, κατά τη φόρτωση, την ανάπτυξη υψηλών πιέσεων ή κενού στη δεξαμενή φορτίου[16].

### **1.3.4. Συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου φορτίου**

Η σωστή παρακολούθηση του φορτίου αποτελεί βασικό στοιχείο της λειτουργικής ασφάλειας και είναι καθοριστική για την προστασία του περιβάλλοντος. Ο τύπος του συστήματος παρακολούθησης φορτίου που απαιτείται για ένα συγκεκριμένο χημικό δεξαμενόπλοιο εξαρτάται από τα φορτία που θα μεταφέρει. Όσο πιο επικίνδυνα είναι τα φορτία, τόσο πιο τεχνολογικά εξελιγμένα πρέπει να είναι τα συστήματα παρακολούθησης. Ο κώδικας IBC προαπαιτεί την ύπαρξη και σωστή λειτουργία εξελιγμένων συστημάτων και πιο συγκεκριμένα μετρητών δεξαμενών, συναγερμών υψηλού επιπέδου, συστημάτων ελέγχου υπερχειλίσης, μετρητών θερμοκρασίας και πίεσης.

Τα χημικά δεξαμενόπλοια που έχουν σχεδιαστεί για τη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων πρέπει να είναι εφοδιασμένα με συσκευές μέτρησης κλειστού τύπου, όπως συστήματα τύπου πλωτήρα και ραντάρ δεξαμενής. Οι κλειστού τύπου συσκευές μπορούν να χρησιμοποιούνται χωρίς να απελευθερώνεται το περιεχόμενο της δεξαμενής[15].

## **1.4. Κίνδυνοι μεταφερόμενων φορτίων**

Η γνώση και η κατανόηση των κινδύνων που σχετίζονται με τα χημικά φορτία είναι πολύ σημαντική προκειμένου να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή ασφάλεια κατά τη μεταφορά τους.

### **1.4.1. Κίνδυνος πυρκαγιάς**

Όταν οι ατμοί που εκπέμπονται από ένα εύφλεκτο υγρό αναφλεγούν παρουσία ποσοτήτων αέρα θα καούν λόγω του ατμοσφαιρικού οξυγόνου. Ωστόσο, δε θα έχουμε καύση εάν η ποσότητα ατμού σε σύγκριση με τον αέρα είναι είτε πολύ μικρή είτε πολύ μεγάλη. Η καύση ενός μίγματος ατμών και αέρα έχει ως αποτέλεσμα πολύ σημαντική διόγκωση αερίων, η οποία, εάν περιοριστεί σε κλειστό χώρο, μπορεί να αυξήσει την πίεση γρήγορα μέχρι το σημείο εκρηκτικής ρήξης.

Επιπροσθέτως, για να εκπέμπει ένα εύφλεκτο υγρό επαρκή ατμό για την ανάφλεξη, πρέπει να βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη υψηλή θερμοκρασία. Αυτή η θερμοκρασία είναι γνωστή ως σημείο ανάφλεξης. Μερικά φορτία εκλύουν εύφλεκτους ατμούς σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, ενώ άλλα μόνο σε υψηλότερες θερμοκρασίες ή όταν θερμαίνονται. Οι διαδικασίες ασφαλούς χειρισμού εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά ευφλεκτότητας κάθε προϊόντος. Τα μη εύφλεκτα φορτία είναι αυτά που δεν εκλύουν εύφλεκτους ατμούς.

Όπως αναφέρθηκε, ο κίνδυνος πυρκαγιάς που παρουσιάζεται από ένα εύφλεκτο φορτίο εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε οξυγόνο της ατμόσφαιρας πάνω από αυτό. Γεμίζοντας τον κενό χώρο σε μια δεξαμενή φορτίου με ένα αδρανές αέριο, όπως το άζωτο, ή την έξοδο μιας γεννήτριας αδρανούς αερίου με πετρέλαιο, η περιεκτικότητα σε οξυγόνο μπορεί να μειωθεί σε επίπεδο, όπου δεν θα είναι δυνατή η ανάφλεξη των ατμών. Αυτό είναι γνωστό ως αδρανοποίηση μιας δεξαμενής. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι μια αδρανοποιημένη ατμόσφαιρα μπορεί να γίνει και πάλι εύφλεκτη εάν εισάγεται αέρας, για παράδειγμα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ρουτίνας.

Ωστόσο, μια αδρανής ατμόσφαιρα δεν πρέπει να θεωρείται ακίνδυνη, ωστόσο, καθώς χωρίς επαρκές οξυγόνο δεν θα υποστηρίξει τις βασικές βιολογικές λειτουργίες. Κάθε άτομο, που εισέρχεται σε μια δεξαμενή που έχει αδρανοποιηθεί, πρέπει πάντα να ακολουθεί αυστηρές διαδικασίες, που αφορούν την είσοδο σε κλειστούς χώρους[19].

### **1.4.2. Κίνδυνος έκρηξης**

Μια χημική ουσία δύναται να αντιδράσει με τον εαυτό της, με νερό, με αέρα, με άλλα χημικά ή με άλλα υλικά. Πολλές από τις χημικές αντιδράσεις που είναι πιθανό να προκύψουν κατά τη μεταφορά χημικών προϊόντων, μπορούν να έχουν ως συνέπεια μικρές ή μεγάλες εκρήξεις. Γενικά, σχεδόν κάθε έκρηξη είναι καταστροφική, καθώς μπορεί να επιφέρει από ζημιές στην κατασκευή, δηλητηριάσεις και εγκαύματα λόγω διαρροών τοξικών φορτίων, μέχρι ολική κατάρρευση του πλοίου και απώλεια ανθρωπίνων ζωών.

Ορισμένα χημικά φορτία, κυρίως οι αιθέρες και οι αλδεΐδες, μπορούν να αντιδράσουν με το οξυγόνο του αέρα και να σχηματίσουν ασταθείς ενώσεις οξυγόνου (υπεροξειδία), οι οποίες, εάν αφεθούν να δημιουργηθούν, θα προκαλέσουν έκρηξη. Τέτοια φορτία μπορούν είτε να ανασταλούν με αντιοξειδωτικό είτε να μεταφερθούν υπό αδρανείς συνθήκες[19].

### **1.4.3. Κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία**

#### ***Δηλητηρίαση***

Τοξικότητα είναι η ικανότητα μιας ουσίας, όταν εισπνέεται, τρώγεται ή απορροφάται από το δέρμα, να προκαλέσει βλάβη στον ζωντανό ιστό, εξασθένηση του κεντρικού νευρικού συστήματος, σοβαρή ασθένεια ή, σε ακραίες περιπτώσεις, θάνατο. Οι συνέπειες αυτές ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με τη φύση της ουσίας και τη διάρκεια έκθεσης σε αυτήν.

Η οξεία δηλητηρίαση λαμβάνει χώρα όταν λαμβάνεται μεγάλη δόση μετά από έκθεση μικρής διάρκειας σε υψηλές συγκεντρώσεις. Η χρόνια δηλητηρίαση γίνεται με έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις για μεγάλη χρονική περίοδο, δηλ. επαναλαμβανόμενες ή παρατεταμένες εκθέσεις.

Η πρόληψη της έκθεσης επιτυγχάνεται μέσω ενός συνδυασμού συγκράτησης φορτίου που εμποδίζει τη μόλυνση του χώρου εργασίας από τοξικές αναθυμιάσεις ή υγρά και τη χρήση ατομικού προστατευτικού εξοπλισμού.

#### ***Ασφυξία***

Ασφυξία είναι απώλεια αισθήσεων που προκαλείται από την έλλειψη οξυγόνου. Οποιοσδήποτε ατμός μπορεί να προκαλέσει ασφυξία, είτε τοξικός είτε όχι, ελαττώνοντας τη συγκέντρωση του οξυγόνου στον αέρα. Οι περιοχές κινδύνου περιλαμβάνουν τις δεξαμενές φορτίου, τους κενούς χώρους και τα αντλιοστάσια φορτίου. Η ατμόσφαιρα ενός διαμερίσματος μπορεί να είναι ελλιπής σε οξυγόνο λόγω φυσικών αιτιών, όπως η αποσύνθεση ή η σήψη οργανικού φορτίου ή η σκουριά χάλυβα σε πρωραίες και πρυμναίες δεξαμενές.

#### ***Αναισθησία***

Ορισμένοι ατμοί, τοξικοί ή μη, προκαλούν απώλεια συνείδησης λόγω της επίδρασής τους στο νευρικό σύστημα.

#### ***Πρόσθετοι κίνδυνοι για την υγεία***

Πρόσθετοι κίνδυνοι για την υγεία μπορεί να παρουσιαστούν από υλικά και εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται κατά το χειρισμό του φορτίου. Για παράδειγμα, ο κίνδυνος κρουοπαγήματος από υγρό άζωτο που αποθηκεύεται επί του σκάφους με σκοπό τη χρήση του ως ελεγκτή της ατμόσφαιρας σε δεξαμενές φορτίου. Ένας άλλος κίνδυνος είναι ο κίνδυνος δερματολογικών βλαβών και σοβαρότατων εγκαυμάτων από επαφή με χημικό φορτίο που έχει διαρρεύσει ή από τυχαία επαφή με εξοπλισμό που χρησιμοποιείται κατά τη διαχείριση θερμομανθέντων φορτίων[19].

#### **1.4.4. Κίνδυνοι για το περιβάλλον**

Η διαρροή φορτίου ενός chemical tanker στη θάλασσα λόγω ατυχήματος μπορεί να έχει πολύ σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

##### ***Επιπτώσεις στο νερό***

Ένας μεγάλος αριθμός από τα επιτρεπόμενα προς μεταφορά χημικά φορτία αντιδρούν σε επαφή τους με το θαλασσινό νερό με αποτέλεσμα τη δημιουργία τοξικών αερίων και ιζημάτων, που μολύνουν τα ύδατα και δημιουργούν νεκρές ζώνες, όπου η επιβίωση οποιουδήποτε οργανισμού είναι αδύνατη.

Επιπλέον, όπως προαναφέρθηκε, ανάμεσα στα διάφορα φορτία που μπορούν να μεταφέρουν τα chemical tankers βρίσκονται και διάφορα ζωικά και φυτικά έλαια. Η διαρροή τους στο θαλασσινό νερό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία κηλίδων, που ανεξαρτήτως έκτασης έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον και τις ακτές[20].

##### ***Επιπτώσεις στους υδρόβιους οργανισμούς***

Οι τοξικές επιδράσεις των χημικών φορτίων στους υδρόβιους οργανισμούς μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες: τις νευροφυσιολογικές, τις συμπεριφορικές και τις αναπαραγωγικές. Αυτές οι επιδράσεις μπορεί να είναι είτε οξείες είτε χρόνιες. Η οξεία τοξικότητα εμφανίζεται γρήγορα, είναι σαφώς καθορισμένη, συχνά θανατηφόρα και σπάνια αντιστρέψιμη. Οι χρόνιες επιδράσεις αναπτύσσονται μετά από μακρά έκθεση σε χαμηλές δόσεις ή πολύ μετά την έκθεση και μπορεί τελικά να προκαλέσουν θάνατο. Αυτές οι επιδράσεις μπορεί συχνά να είναι αλληλένδετες: οι νευρολογικές μεταβολές μπορούν να επηρεάσουν τη συμπεριφορά, οι αλλαγές στη συμπεριφορά μπορούν να επηρεάσουν την αναπαραγωγή και ούτω καθεξής[20].

##### ***Βιοσυσώρευση***

Πρόκειται για το φαινόμενο κατά το οποίο αυξάνεται η συγκέντρωση μη μεταβολιζόμενων χημικών ουσιών στους ιστούς των θαλάσσιων ζωντανών οργανισμών, κατά την πρόοδο της τροφικής αλυσίδας προς την κορυφή. Πάνω από ένα κρίσιμο όριο συγκέντρωσης, αυτές οι ουσίες γίνονται τοξικές[21]. Το φαινόμενο αυτό έχει πολύ μεγάλη σημασία, τόσο για τους πληθυσμούς των θαλάσσιων οργανισμών που αναπαράγονται συνεχώς, όσο και για τον άνθρωπο, καθώς αυτός βρίσκεται συνήθως στο τελευταίο καταναλωτικό επίπεδο και άρα η κατανάλωση μολυσμένων ψαριών και άλλων θαλάσσιων οργανισμών μπορεί να επιφέρει πολύ σοβαρές συνέπειες στην υγεία του, βραχυπρόθεσμες ή μακροπρόθεσμες.



Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα κενή.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

### **2.1. Περιγραφή δείγματος δεδομένων**

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τα δεδομένα των ατυχημάτων που εξήχθησαν από τη βάση δεδομένων Sea Web και αποτέλεσαν τη βάση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η παρουσίαση πραγματοποιείται μέσω της κατανομής των τιμών των ατυχημάτων σε διαγράμματα συναρτήσει της εκάστοτε κατηγορίας δεδομένου που αναλύεται. Πιο συγκεκριμένα, μελετήθηκε δείγμα ναυτικών ατυχημάτων που αφορά τις χρονολογίες 1997 – 2016, το οποίο περιλαμβάνει μόνο όσα ατυχήματα χαρακτηρίζονταν από τη βάση δεδομένων ως “σοβαρά”, αφού στα ατυχήματα αυτά οι καταγραφές δεδομένων ήταν πληρέστερες, έτσι ώστε η στατιστική ανάλυσή τους και η ανάπτυξη του αλγορίθμου εξόρυξης να παρέχουν αξιόπιστες πληροφορίες και να έχουν εμφανή χρησιμότητα στην εξαγωγή συμπερασμάτων. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 896 ναυτικά ατυχήματα που αφορούν αποκλειστικά δεξαμενόπλοια χημικών προϊόντων. Οι ομάδες δεδομένων που εξήχθησαν και χαρακτηρίζουν το κάθε ατύχημα είναι:

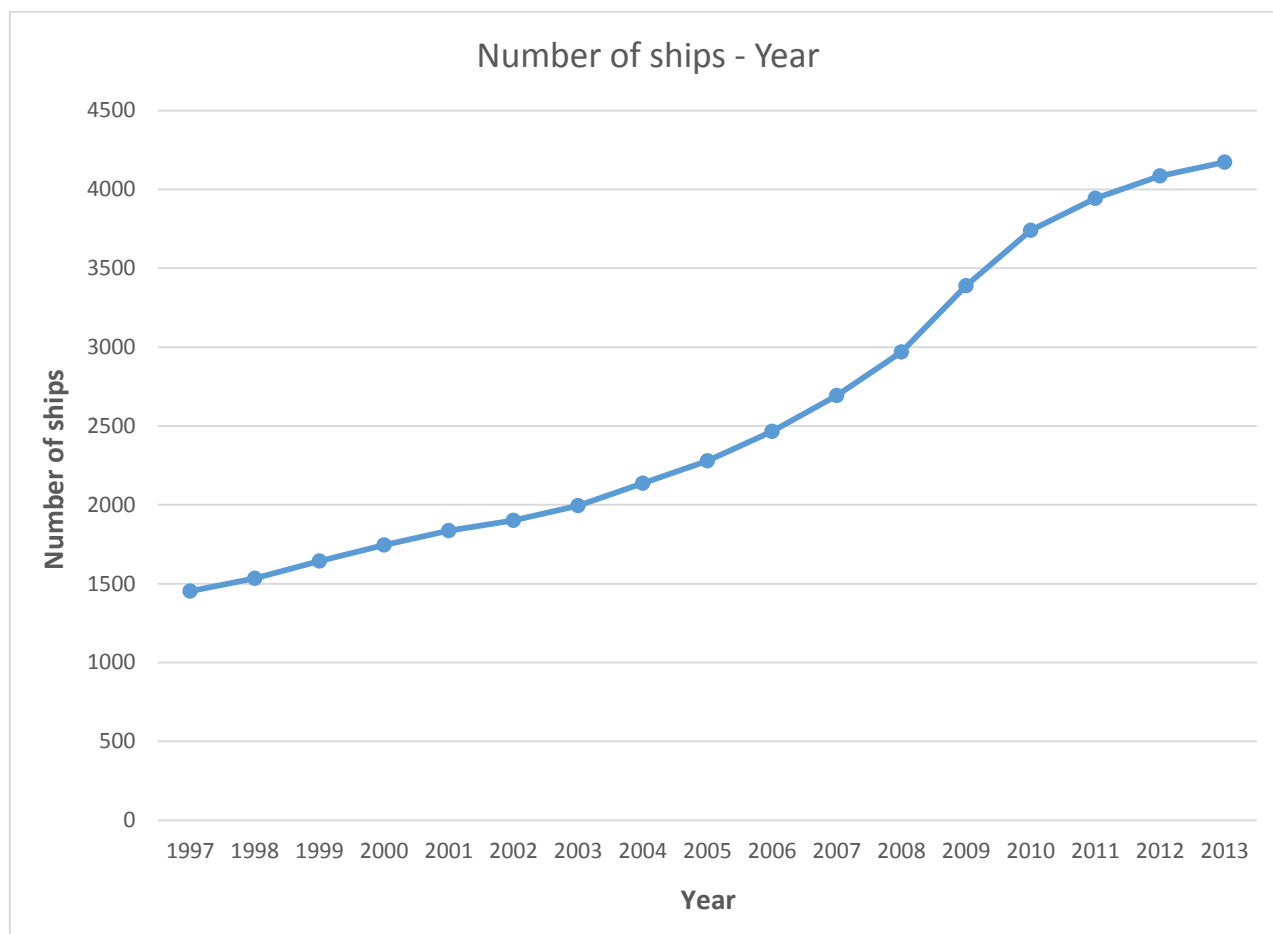
- α) Το έτος πραγματοποίησης του ατυχήματος, με πληρότητα δεδομένου 100%
- β) Το έτος ναυπήγησης του πλοίου που εμπλέκεται στο ατύχημα, με πληρότητα 100%
- γ) Η σημαία του πλοίου που εμπλέκεται στο ατύχημα, με πληρότητα 99,7%
- δ) Η γεωγραφική ζώνη όπου συνέβη το ατύχημα, με πληρότητα 98,9%
- ε) Ο τύπος του ατυχήματος, με πληρότητα 100%
- στ) Το DWT του πλοίου που εμπλέκεται στο ατύχημα, με πληρότητα 99,4%
- ζ) Το GT του πλοίου που εμπλέκεται στο ατύχημα, με πληρότητα 68,7%

Στην τελική επιλογή των δεδομένων που χαρακτηρίζουν το κάθε ατύχημα, λήφθηκε υπόψιν η πληρότητα τους, ώστε να μπορέσουν να αποτελέσουν βάσιμη πληροφορία, καθώς δεν ήταν διαθέσιμες όλες οι παραπάνω κατηγορίες για κάθε ένα από τα ατυχήματα που μελετώνται στην παρούσα εργασία.

Τέλος, πριν την παρουσίαση των κατανομών, παρατίθεται η ερμηνεία του ετήσιου στόλου (Fleet at risk), οι τιμές του οποίου λήφθηκαν από η βάση δεδομένων της Clarksons[22] και θα χρησιμοποιηθούν στα επόμενα κεφάλαια για τον υπολογισμό των συχνοτήτων των ατυχημάτων.

## **2.2. Ετήσιος στόλος (Fleet at risk)**

Για τον υπολογισμό του Fleet at risk έχουν αθροιστεί οι τιμές των 3 επίσημων κατηγοριών των chemical tanker που έχουν περιγραφεί στο κεφάλαιο 2, καθώς και ένα πλήθος από chemical tankers που δεν εμπίπτουν σε κάποια από τις 3 κατηγορίες του IMO. Ωστόσο, η βάση δεδομένων παρείχε τους αριθμούς των πλοίων (παροπλισμένων και μη) μέχρι το έτος 2013, οπότε ο υπολογισμός των συχνοτήτων θα προσαρμοστεί στο χρονικό διάστημα 1997-2013. Στο Σχήμα 1 απεικονίζεται ο ετήσιος στόλος σύμφωνα με τη βάση δεδομένων της Clarksons.

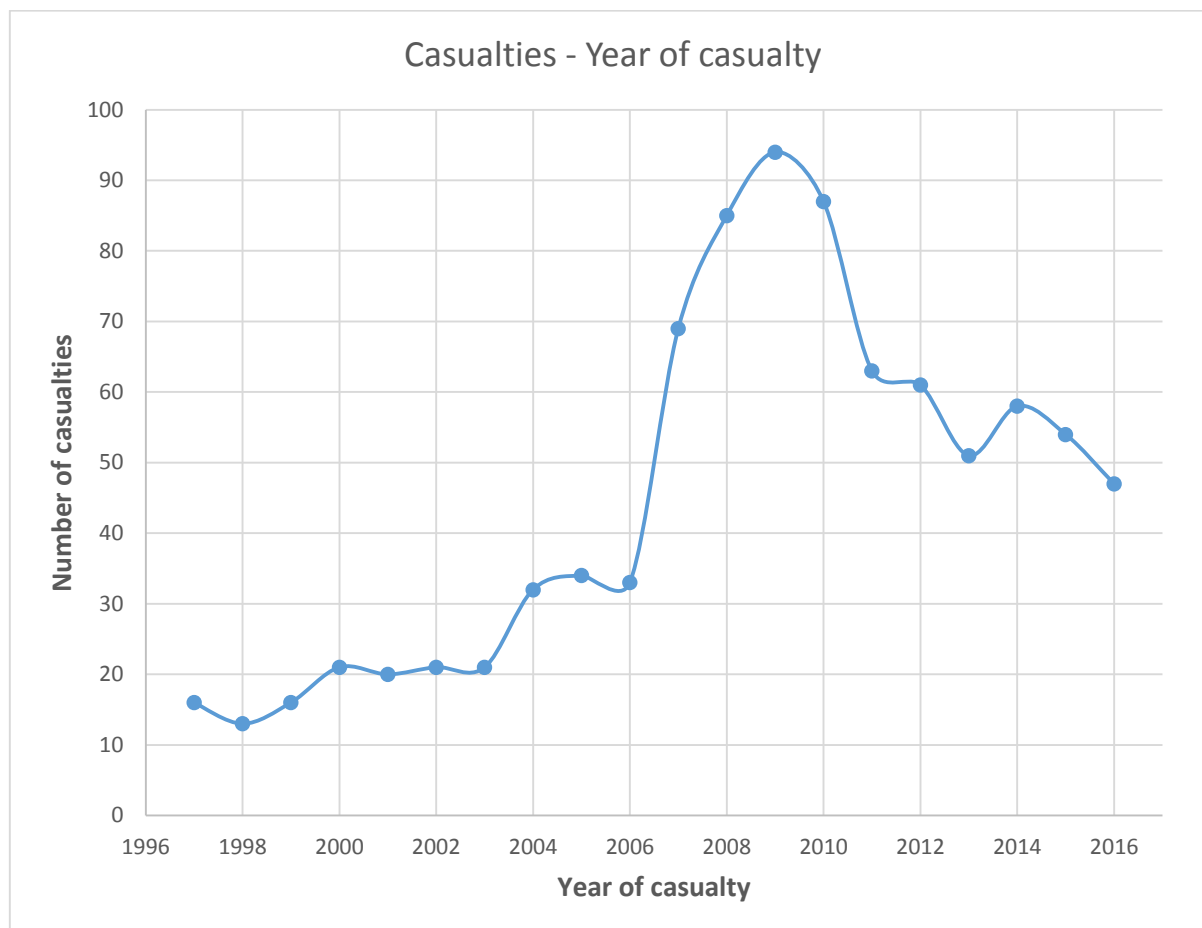


Σχήμα 1: Fleet at risk από τη βάση δεδομένων Clarksons

Όπως είναι εμφανές, ο ετήσιος στόλος αυξάνεται με σχεδόν σταθερό ρυθμό ανά έτος. Αυτό είναι φυσιολογικό αφού μέσα στο διάστημα μελέτης αυξήθηκε ο όγκος του εμπορίου και κατ' επέκταση η ανάγκη για μεγαλύτερη και γρηγορότερη μεταφορά από θαλάσσης. Η αύξηση αυτή της ζήτησης, σε συνδυασμό με τη συνεχή τεχνολογική εξέλιξη, δικαιολογούν τον συνεχώς αυξανόμενο αριθμό πλοίων που εκτελούν μεταφορές χημικών προϊόντων.

### 2.3. Κατανομή ατυχημάτων ανά έτος

Στο Σχήμα 2 έχουν κατανεμηθεί τα ατυχήματα ανάλογα με τη χρονολογία μέσα στην οποία πραγματοποιήθηκαν. Ειδικότερα, το διάγραμμα του Σχήματος 2 περιλαμβάνει τα ατυχήματα που πραγματοποιήθηκαν από τις 27 Ιανουαρίου του 1997 μέχρι και τις 5 Οκτωβρίου του 2016.

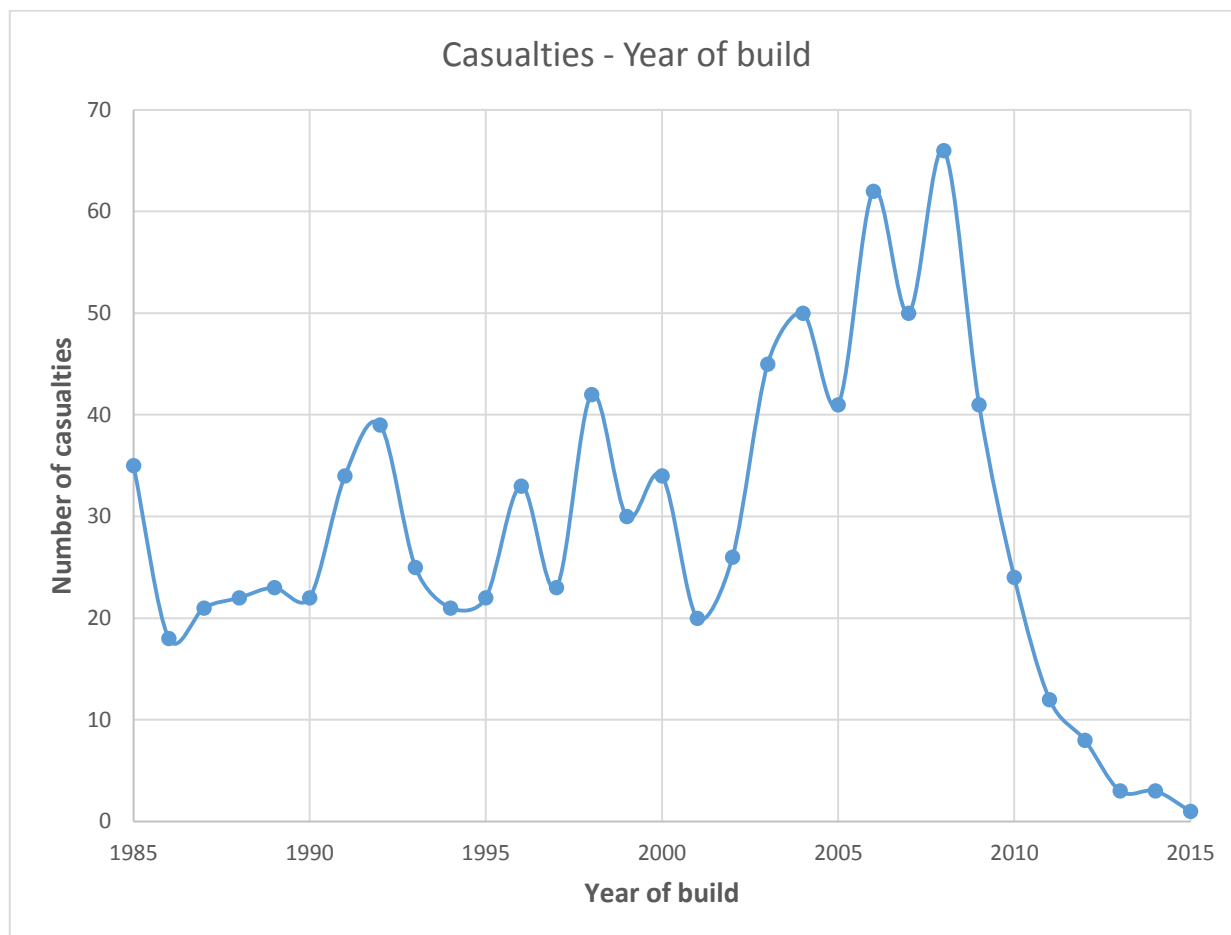


Σχήμα 2: Ατυχήματα ανά έτος

Παρατηρείται ραγδαία αύξηση του αριθμού ατυχημάτων ανά έτος από το 1997 μέχρι το 2009, με αποκορύφωμα τα 94 ατυχήματα που σημειώθηκαν μέσα στο 2009. Η αύξηση αυτή μπορεί να θεωρηθεί φυσιολογική και να υποτεθεί ότι οφείλεται στην αύξηση του ετήσιου στόλου μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα. Από το 2009 μέχρι και το 2016 ο αριθμός ατυχημάτων ανά έτος μειώνεται ολοένα και περισσότερο. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην καλύτερη μελέτη και οργάνωση της μεταφοράς των επικίνδυνων χημικών φορτίων καθώς και πιθανόν στις καλύτερες συνθήκες πλοήγησης λόγω της εξέλιξης των τεχνολογικών μέσων.

## 2.4. Κατανομή ατυχημάτων ανά έτος ναυπήγησης

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται ο αριθμός των ατυχημάτων ανάλογα με την ημερομηνία κατασκευής του πλοίου. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται ο αριθμός των ατυχημάτων που αφορούν πλοία ηλικίας από 1 μέχρι 21 ετών.

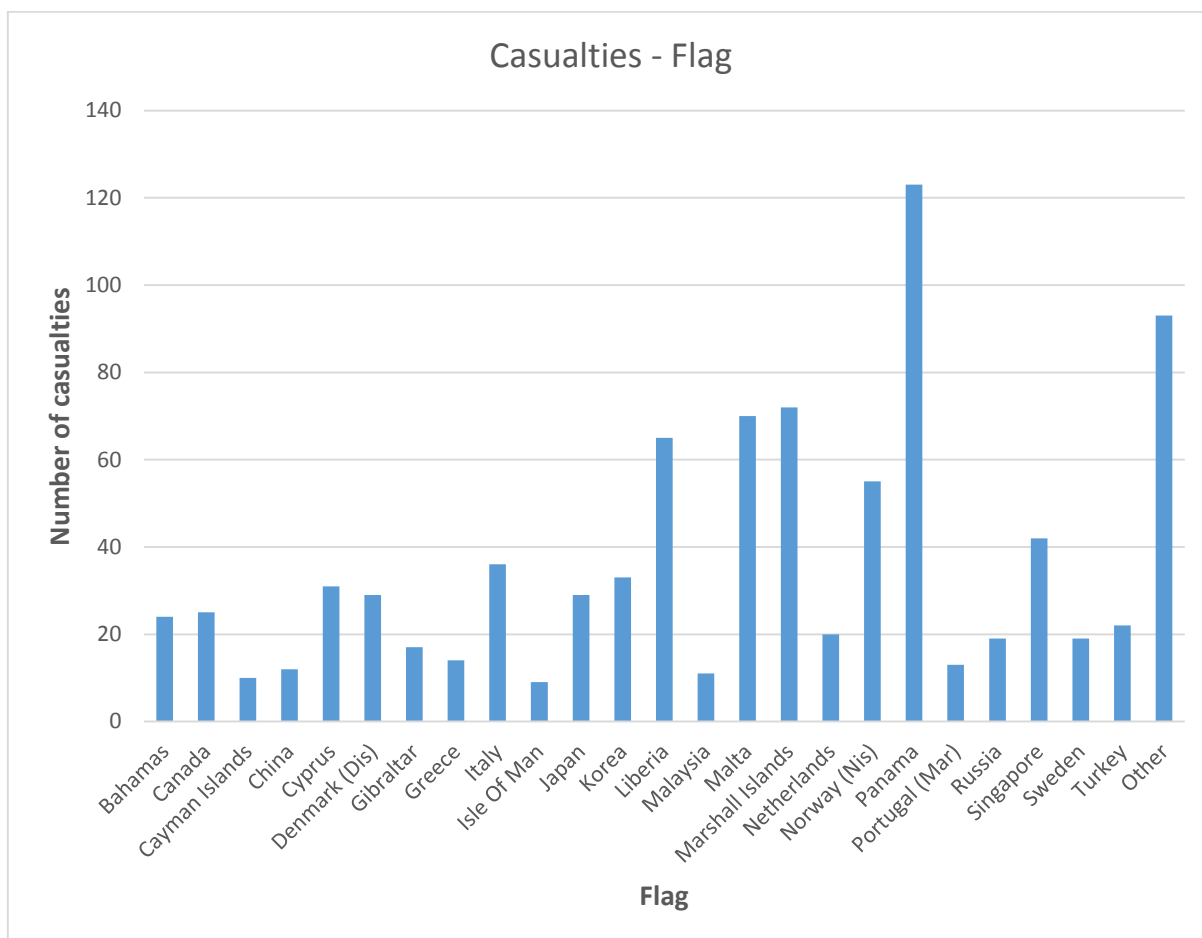


Σχήμα 3: Ατυχήματα ανά έτος ναυπήγησης

Για έτος κατασκευής από το 1985 μέχρι και το 2003 εμφανίζεται ένα σταθερό εύρος αριθμού ατυχημάτων, ενώ από το 2003 μέχρι και το 2008 παρατηρείται αύξηση, με αποκορύφωμα τα 66 ατυχήματα που αφορούν πλοία που ναυπηγήθηκαν αποκλειστικά μέσα στο 2008. Για ημερομηνίες κατασκευής από το 2008 και μετά παρουσιάζεται ραγδαία μείωση, με επαρκές δεδομένο το 1 ατύχημα για πλοία που ναυπηγήθηκαν μέσα στο 2015. Η μείωση αυτή μπορεί να υποθεθεί ότι οφείλεται στη συνεχή βελτίωση της τεχνογνωσίας, στην εξέλιξη της τεχνολογίας και στην περαιτέρω συγκεκριμενοποίηση του νομοθετικού πλαισίου που διέπει τις θαλάσσιες μεταφορές χημικών προϊόντων.

## 2.5. Κατανομή ατυχημάτων ανά σημαία

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η κατανομή των ατυχημάτων ανάλογα με τη σημαία υπό την οποία έπλεαν τα πλοία τη στιγμή του ατυχήματος. Στα δεδομένα που δόθηκαν υπάρχει μεγάλο πλήθος σημαιών με μικρό αριθμό ατυχημάτων. Δεδομένου ότι η παράθεση όλων των σημαιών θα έκανε δυσκολότερη την παρουσίαση και ανάγνωση του σχήματος, επιλέχθηκε να παρουσιαστούν μόνο οι σημαίες που αφορούν τουλάχιστον 9 ατυχήματα, καθώς καλύπτουν το 90% του συνόλου των ατυχημάτων.

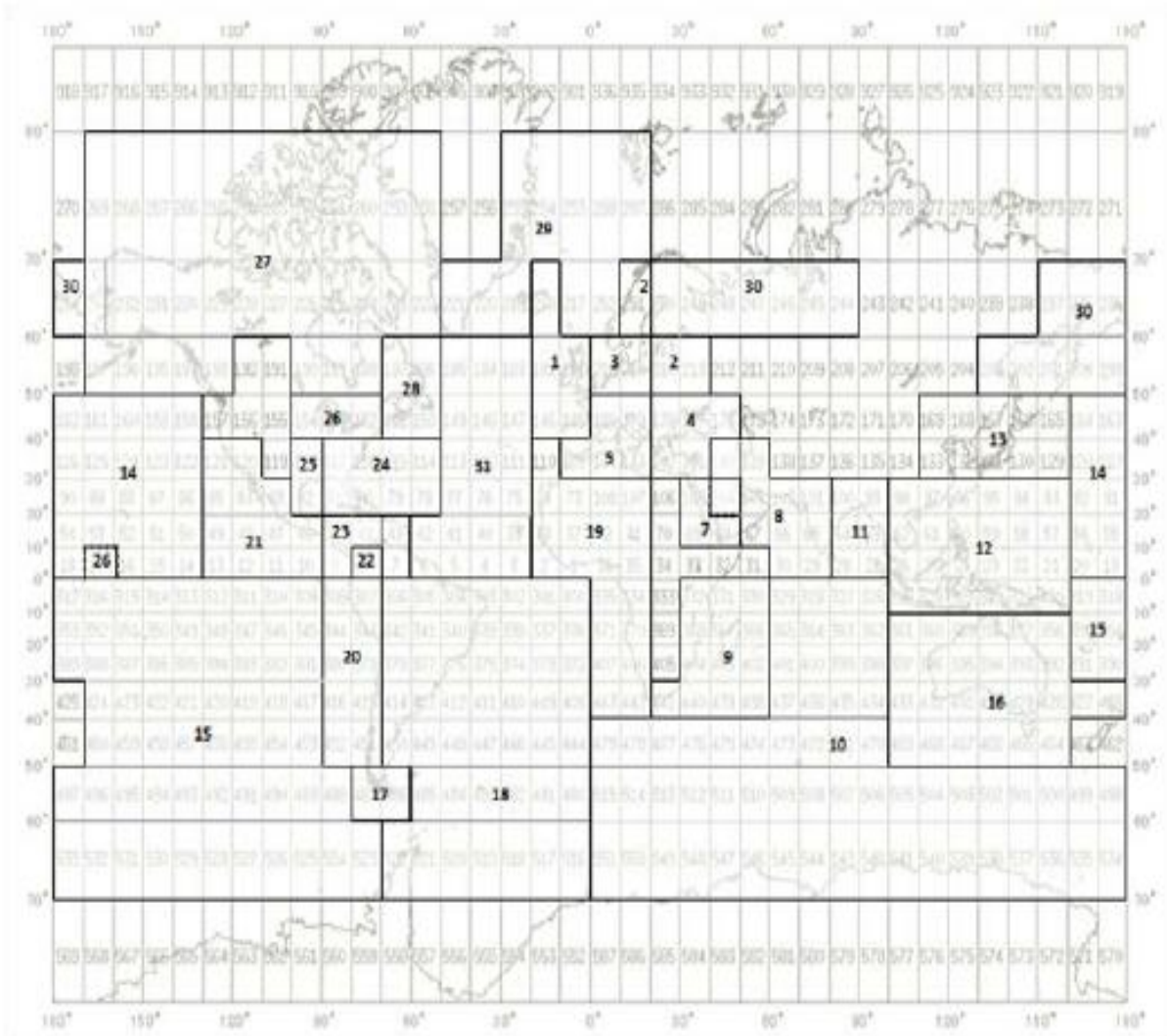


Σχήμα 4: Ατυχήματα ανά σημαία πλοίου

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 4, τα πλοία που φέρουν τη σημαία του Παναμά εμπλέκονται στο μεγαλύτερο αριθμό ατυχημάτων και συγκεκριμένα σε 123 ατυχήματα. Ο μικρότερος αριθμός ατυχημάτων είναι τα 9 ατυχήματα, τα οποία αφορούν πλοία που φέρουν τη σημαία της Νήσου του Μαν. Αυτό μπορεί να αποδοθεί εύκολα στο ότι ο Παναμάς διαθέτει το μεγαλύτερο ποσοστό σημαιών παγκοσμίως, διαθέτοντας τη σημαία του 21% του παγκόσμιου στόλου, ενώ η Νήσος του Μαν μόλις το 1%, που συγκαταλέγεται στα μικρότερα ποσοστά παγκοσμίως[23].

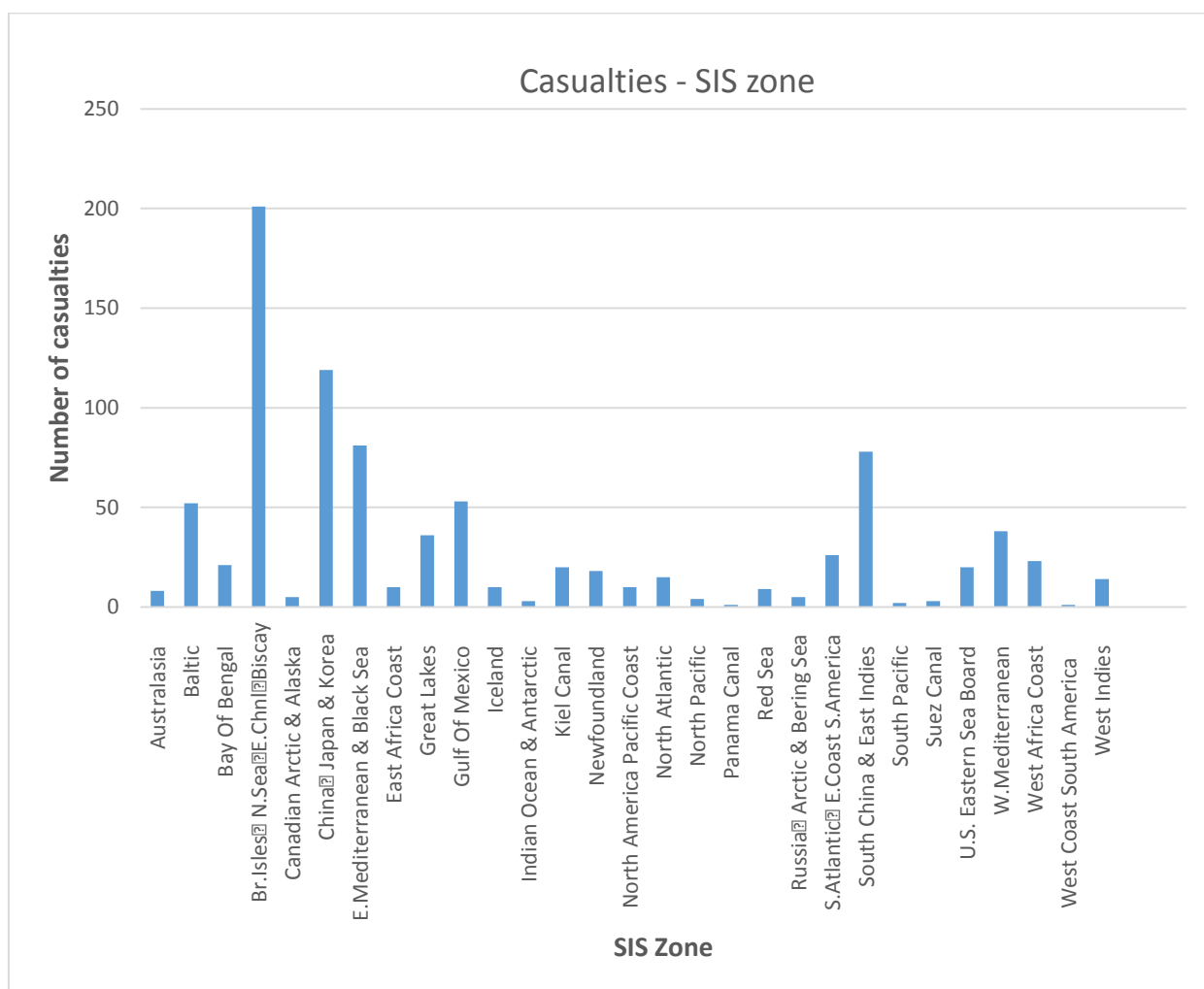
## 2.6. Κατανομή ατυχημάτων ανά γεωγραφική ζώνη

Η βάση δεδομένων της Sea web χρησιμοποιεί το τοπολογικό σύστημα 'SIS zones' για τον προσδιορισμό των γεωγραφικών περιοχών στις οποίες συνέβησαν τα ατυχήματα. Βάση του συστήματος αυτού, η επιφάνεια της γης έχει διαιρεθεί σε 31 ζώνες οι οποίες αφορούν περιοχές μεγάλου ενδιαφέροντος. Οι γεωγραφικές αυτές ζώνες φαίνονται στην εικόνα 5.



Εικόνα 5: Οι 'SIS zones' πάνω στον παγκόσμιο χάρτη [24]

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζονται οι γεωγραφικές ζώνες που απασχολούν και ο αριθμός ατυχημάτων που συνέβησαν σε καθεμία από αυτές.



Σχήμα 5: Ατυχήματα ανά γεωγραφική ζώνη

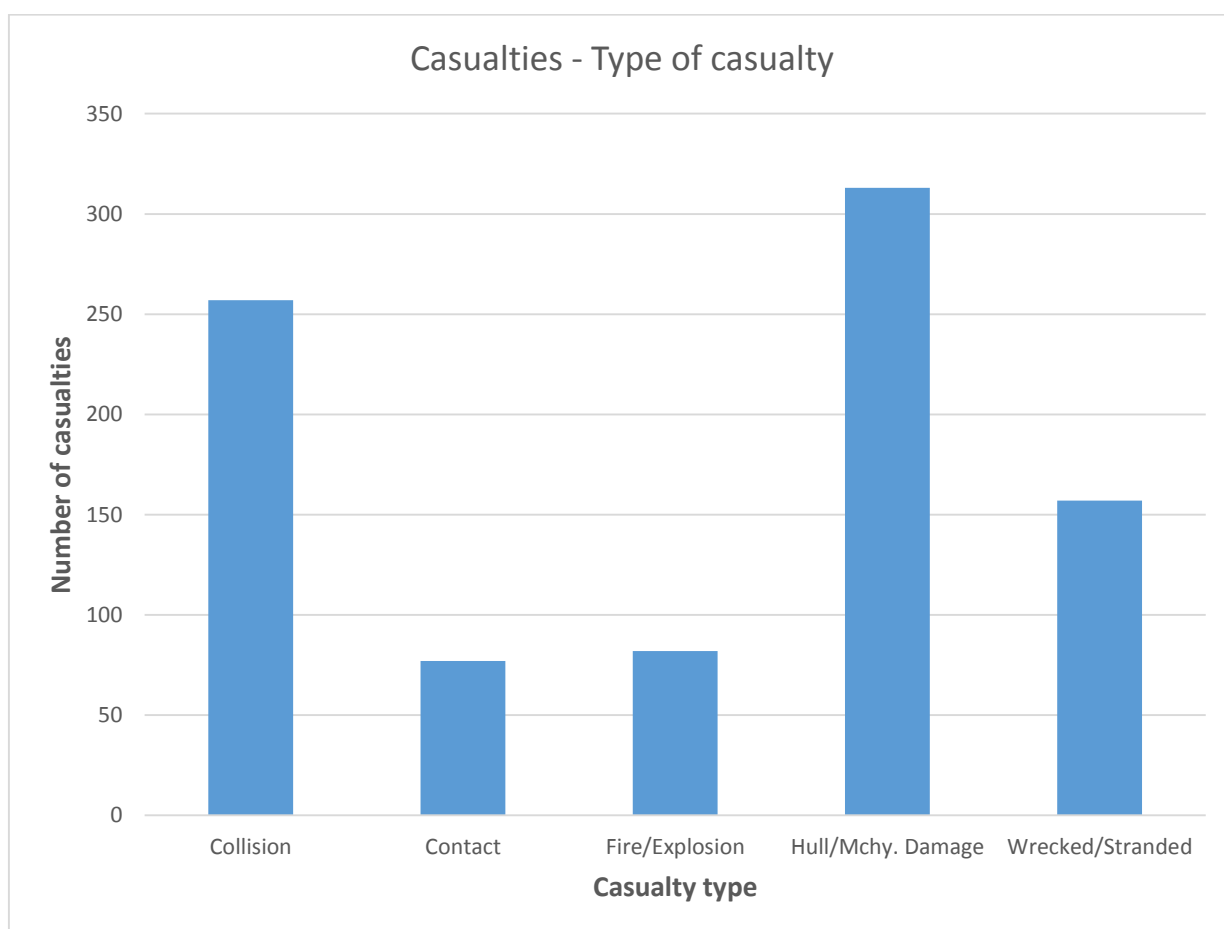
Η περιοχή στην οποία συμβαίνουν τα περισσότερα ατυχήματα είναι η “Br. Isles N. Sea E. Chnl Biscay” (201 ατυχήματα). Ακολουθεί η “China Japan & Korea” (119 ατυχήματα), η “E. Mediterranean & Black Sea” (81 ατυχήματα) και η “South China & East Indies” (78 ατυχήματα). Όλες οι υπόλοιπες περιοχές έχουν λιγότερα από 54 ατυχήματα, ενώ οι περισσότερες παρουσιάζουν αμελητέο αριθμό ατυχημάτων.



## **2.7. Κατανομή ατυχημάτων ανά τύπο ατυχήματος**

Παρατηρήθηκαν 8 διαφορετικά καταγεγραμμένα είδη ατυχημάτων στο δείγμα που μελετάται. Ωστόσο, μόνο οι 5 τύποι ατυχημάτων αξίζουν παρουσίασης και ανάλυσης: Η περίπτωση σύγκρουσης (Collision), επαφής (Contact), έκρηξης ή πυρκαγιάς (Fire/Explosion), μηχανολογικής βλάβης ή βλάβης στη γάστρα (Hull/Mchy. Damage) και η περίπτωση προσάραξης (Wrecked/Stranded). Υπάρχουν και οι περιπτώσεις της βύθισης (με πολύ μικρό αριθμό καταγραφών), της βλάβης από πολεμικές εχθροπραξίες, καθώς και ένα πλοίο το οποίο αγνοείται μέχρι σήμερα. Κρίνονται όμως ακατάλληλες προς μελέτη, αφού δεν είναι δυνατόν να εξαχθούν αξιολογικά στοιχεία.

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζονται οι 5 βασικοί τύποι ατυχημάτων.

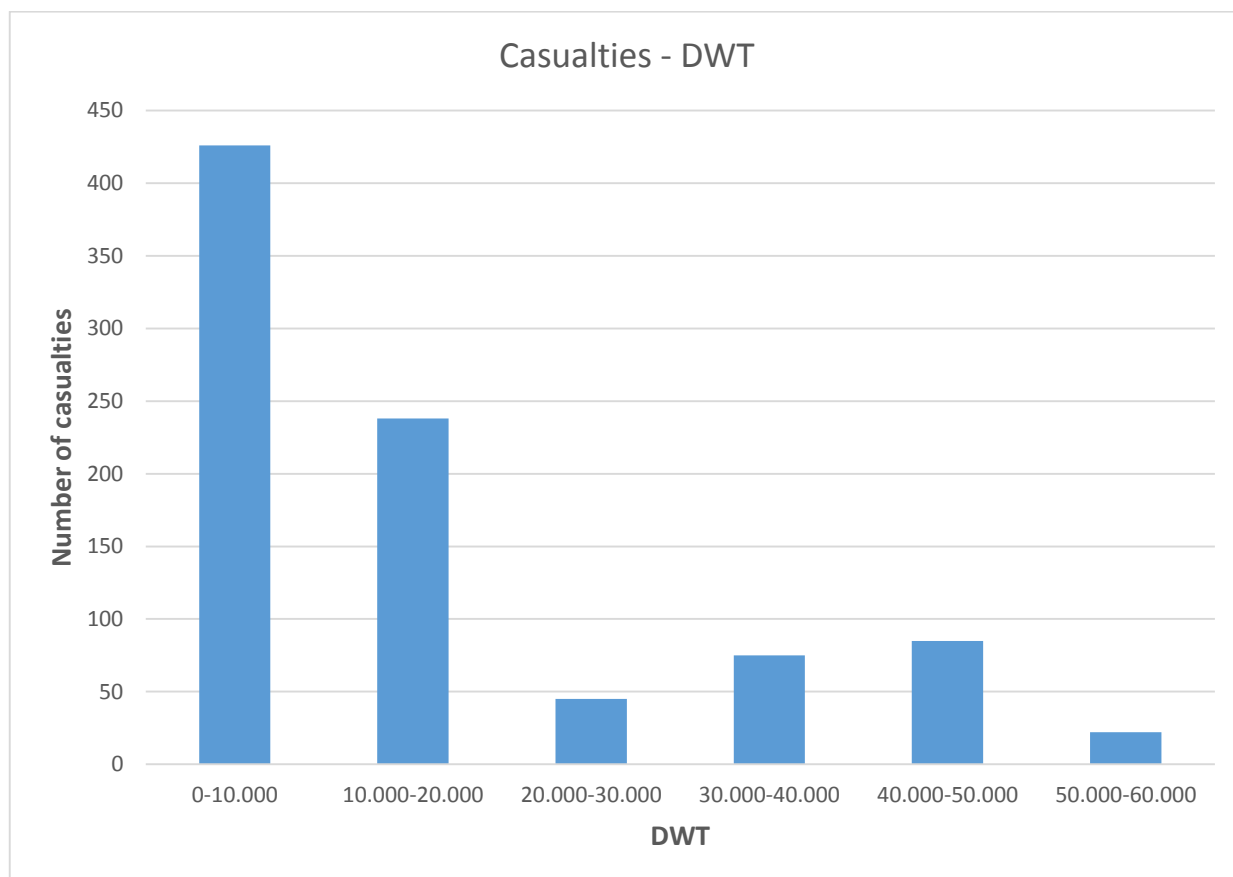


Σχήμα 6: Ατυχήματα ανά τύπο ατυχήματος

Τα 313 ατυχήματα αφορούν περιπτώσεις μηχανολογικής βλάβης ή βλάβης γάστρας, τα 257 περιπτώσεις σύγκρουσης, τα 157 περιπτώσεις προσάραξης, τα 82 περιπτώσεις έκρηξης ή πυρκαγιάς και τα 77 και αφορούν ατυχήματα επαφής.

## **2.8. Κατανομή ατυχημάτων ανάλογα με το Deadweight**

Στο Σχήμα 7 εμφανίζεται η κατανομή των ατυχημάτων σε σχέση με το DWT των πλοίων. Τα πλοία ταξινομήθηκαν σε κατηγορίες βαρών για καλύτερη διαγραμματική απεικόνιση. Προτιμήθηκε η απεικόνιση σε κατηγορίες ανάλογα με το νεκρό βάρος (DWT) και όχι με τονόζ (GT), γιατί η βάση δεδομένων παρείχε 99,4% πληρότητα όσον αφορά το νεκρό βάρος (891/896), ενώ υπήρχε έλλειψη σημαντικού πλήθους πληροφοριών που αφορούν το GT.



*Σχήμα 7: Κατανομή ατυχημάτων ανάλογα με το DWT*

Τα περισσότερα ατυχήματα είναι 426 και αφορούν πλοία μεταξύ 0 και 10000 DWT, ακολουθούν 238 ατυχήματα για πλοία μεταξύ 10000 και 20000 DWT, ενώ τα λιγότερα είναι τα 22 ατυχήματα που αφορούν πλοία μεταξύ 50000 και 60000 DWT. Όπως είναι εμφανές στο Σχήμα 7, τα 664 από τα 896 ατυχήματα (74,1%) αφορούν πλοία μεταξύ 0 και 20000 DWT, ενώ από 20000 DWT και πάνω σημειώνεται ραγδαία μείωση στον αριθμό των ατυχημάτων.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα κενή.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

### **3.1. Εισαγωγή στη μη παραμετρική στατιστική**

Πολλές παραμετρικές στατιστικές μέθοδοι ελέγχου υποθέσεων στηρίζονται στην υπόθεση, ότι η μεταβλητότητα των δεδομένων περιγράφεται από μία κατανομή συγκεκριμένης μορφής (για παράδειγμα, κανονική ή κάποια άλλη κατανομή που δεν απέχει πολύ από την κανονική). Έτσι, στους ελέγχους υποθέσεων που αναφέρονται στην μέση τιμή ενός πληθυσμού, γίνεται η υπόθεση ότι ο δειγματικός μέσος κατανέμεται κανονικά. Στους ελέγχους υποθέσεων που αναφέρονται στις παραμέτρους του γραμμικού μοντέλου, ο προσθετός που αντιστοιχεί στο τυχαίο σφάλμα θεωρείται ότι κατανέμεται σύμφωνα με την κανονική κατανομή. Τέλος, στους ελέγχους υποθέσεων στο πλαίσιο προβλημάτων ανάλυσης διασποράς, υποθέτουμε ότι η εντός των επιδράσεων μεταβλητότητα περιγράφεται από την κανονική κατανομή. Στην πράξη, όμως, εμφανίζονται συχνά περιπτώσεις στις οποίες τα δείγματα είναι μικρά και τα δεδομένα κατανέμονται εμφανώς μη κανονικά. Εμφανίζονται επίσης περιπτώσεις, όπου ακόμα και αν υπάρχει κάποια ένδειξη κανονικότητας, ο ερευνητής που ενδεχομένως έχει βαθειά γνώση του πληθυσμού, είναι επιφυλακτικός στο να κάνει μια τέτοια υπόθεση.

Οι στατιστικοί αναλυτές επινόησαν αρκετές εναλλακτικές τεχνικές για τον ερευνητή ο οποίος διστάζει να υποθέσει κανονικότητα. Οι τεχνικές αυτές δεν απαιτούν συγκεκριμένες υποθέσεις για την μορφή του πληθυσμού από τον οποίο προέρχονται τα δεδομένα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για μικρά όσο και για μεγάλα δείγματα. Είναι δηλαδή σχεδιασμένες για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανεξάρτητα από την κατανομή των δεδομένων. Επομένως, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για κανονικούς πληθυσμούς όσο και για μη κανονικούς πληθυσμούς. Για τον λόγο αυτό, ονομάζονται ελεύθερες κατανομών ή μη παραμετρικές τεχνικές (distribution-free ή non-parametric techniques).

Οι μη παραμετρικές τεχνικές είναι πολύ απλές στην χρήση τους και ο σχεδιασμός τους είναι αποτέλεσμα στοιχειωδών θεωρήσεων. Εάν τα δεδομένα ακολουθούν στην πραγματικότητα την κανονική κατανομή, τότε οι μη παραμετρικοί έλεγχοι υποθέσεων δεν είναι το ίδιο ισχυροί όπως οι αντίστοιχοι παραμετρικοί έλεγχοι, οι οποίοι κάνουν χρήση της υπόθεσης της κανονικότητας. Ένας έλεγχος, ο οποίος αγνοεί πληροφορίες σχετικά με τα δεδομένα, όπως είναι η μορφή της κατανομής τους, δεν αναμένεται να είναι το ίδιο αξιόπιστος όπως ένας έλεγχος ο οποίος κάνει χρήση αυτής της πληροφορίας. Έτσι, ένας έλεγχος, ο οποίος δεν λαβαίνει υπόψη του ότι τα δεδομένα προέρχονται από μια κανονική κατανομή, δεν αναμένεται να είναι το ίδιο ισχυρός όπως ένας έλεγχος ο οποίος χρησιμοποιεί αυτή την υπόθεση. Απ' την άλλη, εάν τα δεδομένα προέρχονται από μη κανονικό πληθυσμό, τότε οι μη παραμετρικοί έλεγχοι έχουν ένα σαφές πλεονέκτημα έναντι των παραμετρικών ελέγχων, οι οποίοι στηρίζονται στην εσφαλμένη υπόθεση της κανονικότητας των δεδομένων. Η σοβαρότητα του σφάλματος και, επομένως, η ακρίβεια των παραμετρικών ελέγχων εξαρτάται από το πόσο εσφαλμένη είναι η υπόθεση της κανονικότητας. Επειδή οι μη παραμετρικοί έλεγχοι στηρίζονται σε ελάχιστες υποθέσεις για τους πληθυσμούς από τους

οποίους προέρχονται τα δεδομένα και όχι σε υποθέσεις οι οποίες αναφέρονται στην μορφή των πληθυσμών αυτών, είναι γενικά πολύ ευσταθείς.

Συνοψίζοντας, οι μη παραμετρικές μέθοδοι αποβλέπουν σε ευρύτερα πεδία εφαρμογής λόγω του ότι οι κατανομές στις οποίες αναφέρονται είναι λιγότερο περιορισμένες από ό,τι στα αντίστοιχα παραμετρικά προβλήματα. Επιπλέον, δεν είναι εξίσου ισχυρές με τις αντίστοιχες παραμετρικές μεθόδους και τέλος είναι περισσότερο ευσταθείς, επειδή ακριβώς δεν επηρεάζονται από την μορφή της κατανομής των δεδομένων. Παρ' όλα αυτά, οι μη παραμετρικές μέθοδοι συχνά είναι σχεδόν το ίδιο αποτελεσματικές με τις παραμετρικές, οι οποίες κάνουν αυστηρές υποθέσεις για τον πληθυσμό από τον οποίο προέρχονται τα δεδομένα. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα των μη παραμετρικών μεθόδων είναι ότι μπορούν να εφαρμοθούν σε δεδομένα που είναι ταξινομημένα σε κατηγορίες (κατηγορικά δεδομένα) και τα οποία είναι σε κλίμακα διάταξης ή ακόμα και απλώς σε ονομαστική κλίμακα, ενώ οι παραμετρικές μέθοδοι προϋποθέτουν ακριβείς μετρήσεις. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι μη παραμετρικές μέθοδοι μπορούν να θεωρηθούν ως προπαρασκευαστικές για τις παραμετρικές μεθόδους, με την έννοια ότι, η χρησιμοποίηση μιας παραμετρικής μεθόδου, η οποία βασίζεται στην υπόθεση της κανονικότητας, θα πρέπει να έπεται ενός ελέγχου, με μία μη παραμετρική μέθοδο, της υπόθεσης ότι τα δεδομένα έχουν προέλθει από μια κανονική κατανομή[25].

Μερικά ενδεικτικά παραδείγματα μη παραμετρικών στατιστικών μεθόδων είναι τα εξής[26]:

α) Κριτήριο  $\chi^2$ : Η μηδενική υπόθεση είναι ότι τα δεδομένα είναι ανεξάρτητα.

β) Διωνυμικό Κριτήριο: Η μηδενική υπόθεση συνήθως είναι ότι τα ενδεχόμενα είναι ισοπίθανα.

γ) Κριτήριο Crammer-Von Mises: Η μηδενική υπόθεση είναι ότι η συνάρτηση αθροιστικής κατανομής του δείγματος ακολουθεί την εμπειρική συνάρτηση κατανομής Crammer – Von Misses.

δ) Κριτήριο Kolmogorov-Smirnov: Η μηδενική υπόθεση αυτής της μεθόδου συνήθως είναι ότι η κατανομή των δεδομένων ακολουθεί την εμπειρική κατανομή Kolmogorov-Smirnov.

Από αυτά τα 4 κριτήρια θα χρησιμοποιηθεί το (α) για να προσδιοριστεί κατά πόσο κάποια επιλεγμένα δεδομένα επηρεάζουν τον τύπο ατυχήματος, καθώς η φύση των δεδομένων δεν επιτρέπει τη διενέργεια κάποιου διαφορετικού ελέγχου πέραν του  $\chi^2$ .

### **3.2. Η μέθοδος ελέγχου ανεξαρτησίας $\chi^2$ (Chi square independence test)**

Ο έλεγχος  $\chi^2$  (Pearson chi-square) αποτελεί επαγωγικό έλεγχο, μέσω του οποίου ελέγχεται η υπόθεση ότι οι δύο μεταβλητές του πίνακα συνάφειας είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους (δηλαδή ότι μεταβολές στις τιμές της μιας δεν προκαλούν μεταβολές στις τιμές της άλλης).

Όταν δύο μεταβλητές είναι ανεξάρτητες, οι αναμενόμενες συχνότητες για τα κελιά του πίνακα συνάφειάς τους, υπολογίζονται ως το γινόμενο των αντίστοιχων συχνοτήτων κάθε κελιού, διαιρούμενου με το συνολικό πλήθος των παρατηρήσεων του πίνακα.

Αν δύο μεταβλητές είναι ανεξάρτητες, οι παρατηρούμενες συχνότητες μπορούν να διαφοροποιούνται από τις αναμενόμενες συχνότητες μόνο στο βαθμό που οι διαφορές τους οφείλονται σε τυχαίους παράγοντες και όχι μεγαλύτερης έκτασης που μπορεί να σημαίνει ότι δεν αποδίδονται μόνο στην τύχη.

Έτσι, η ανεξαρτησία δύο μεταβλητών κατηγοριών, ελέγχεται με τη βοήθεια μιας συνάρτησης, που βασίζεται στις διαφορές ανάμεσα στις παρατηρούμενες και τις αναμενόμενες συχνότητες. Η συνάρτηση αυτή για έναν πίνακα με  $r$  γραμμές και  $c$  στήλες (πίνακας  $r \times c$ ) ορίζεται από την ποσότητα:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{rc} \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

όπου:

O=Observed (παρατηρούμενες συχνότητες)

E=Expected (αναμενόμενες συχνότητες)

Οι προς διερεύνηση υποθέσεις είναι οι ακόλουθες:

$H_0$  = Οι μεταβλητές X και Y είναι ανεξάρτητες

$H_1$  = Οι μεταβλητές X και Y ΔΕΝ είναι ανεξάρτητες

Εφαρμόζεται  $\chi^2$  test σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ . Αν το p-value για το  $\chi^2$  test  $\leq 0,05=\alpha$  τότε απορρίπτεται η  $H_0$  και συνεπώς οι μεταβλητές ΔΕΝ είναι ανεξάρτητες. Αν το p-value για το  $\chi^2$  test  $> 0,05=\alpha$  τότε δεν απορρίπτεται η  $H_0$  και συνεπώς οι μεταβλητές είναι ανεξάρτητες.

Προϋποθέσεις για να είναι το  $\chi^2$  test αξιόπιστο είναι

- i) Καμία αναμενόμενη συχνότητα δε θα πρέπει να είναι μικρότερη του 1 και
- ii) Το ποσοστό των αναμενόμενων συχνοτήτων που είναι μικρότερες από το 5, δε θα πρέπει να υπερβαίνει το 20%[27].

Ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα ώστε να γίνει έλεγχος της στατιστικής κατανομής των δεδομένων:

α) Δημιουργήθηκε πίνακας (K) 2 διαστάσεων ποσοτικής καταγραφής των ατυχημάτων ως προς τον τύπο του ατυχήματος και ενός εκ των παραγόντων.

β) Υπολογίστηκαν οι βαθμοί ελευθερίας Df:

$$Df=(c-1)*(r-1)$$

όπου c= Αριθμός στηλών, r= Αριθμός γραμμών

γ) Δημιουργήθηκε πίνακας διαστάσεων r,c βάσει του ακόλουθου τύπου:

$E_{r,c}=(\text{Άθροισμα των ατυχημάτων της στήλης } c) * (\text{Άθροισμα των ατυχημάτων της γραμμής } r) / (\text{Άθροισμα των ολικών ατυχημάτων})$

δ) Δημιουργήθηκε πίνακας Χ βάσει του ακόλουθου τύπου:

$$X_{r,c} = (K_{r,c} * E_{r,c})^2 / E_{r,c}$$

ε) Το  $\chi^2$  προκύπτει ως το άθροισμα όλων των επιμέρους Χ.

στ) Το Pι υπολογίζεται μέσω των  $\chi^2$  και Df.

Για τιμές του Pι μικρότερες του 5% η κατανομή των δεδομένων δεν ακολουθεί την θεωρητική κατανομή. Ακολουθούν οι πίνακες και τα αποτελέσματα για τους παράγοντες που θεωρήθηκε ότι επηρεάζουν τον τύπο ατυχήματος.

### **3.3. Εφαρμογή ελέγχου ανεξαρτησίας $\chi^2$ ως προς το είδος ατυχήματος**

Τα δεδομένα που εξετάζονται αν επιδρούν στον τύπο του ατυχήματος είναι:

α) Το DWT

β) Η σημαία του πλοίου (Flag)

γ) Η ζώνη ατυχήματος (SIS Zone)

δ) Το έτος ατυχήματος (Year of casualty)

ε) Το έτος κατασκευής του πλοίου (Year of build)

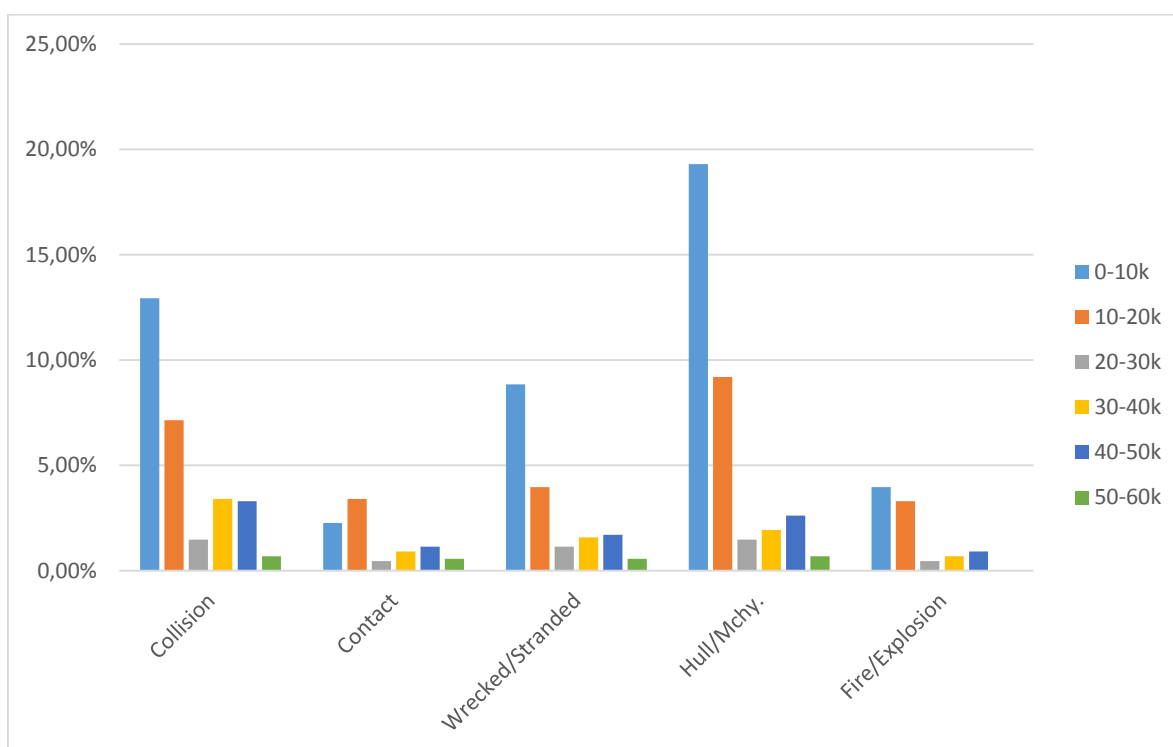
στ) Η ηλικία του πλοίου (Age of ship)

Η ηλικία του πλοίου αποτελεί την αφαίρεση του έτους του ατυχήματος από το έτος κατασκευής.

### 3.3.1. DWT

Πίνακας 1: Αναλυτική κατανομή ατυχημάτων συναρτήσεϊ του DWT

DWT	Collision		Contact		Wrecked/Stranded		Hull/Mchy.		Fire/Explosion		Total	
0-10k	12.94%	114	2.27%	20	8.85%	78	19.30%	170	3.97%	35	47.33%	417
10-20k	7.15%	63	3.41%	30	3.97%	35	9.19%	81	3.29%	29	27.01%	238
20-30k	1.48%	13	0.45%	4	1.14%	10	1.48%	13	0.45%	4	4.99%	44
30-40k	3.41%	30	0.91%	8	1.59%	14	1.93%	17	0.68%	6	8.51%	75
40-50k	3.29%	29	1.14%	10	1.70%	15	2.61%	23	0.91%	8	9.65%	85
50-60k	0.68%	6	0.57%	5	0.57%	5	0.68%	6	0.00%	0	2.50%	22
Total	28.94%	255	8.74%	77	17.82%	157	35.19%	310	9.31%	82	100.00%	881



Σχήμα 8: Αναλυτική κατανομή ατυχημάτων συναρτήσεϊ του DWT

Μέσω της διαδικασίας του στατιστικού ελέγχου που περιγράφηκε παραπάνω προέκυψαν:

$$Df = 32 \text{ και } \chi^2 = 38,67 \text{ , άρα } P\text{value} = 0,007 < 0,05$$

Η τιμή αυτή δείχνει ότι η στατιστική σημαντικότητα αυτού του συστήματος δεδομένων είναι μεγάλη. Επομένως, το DWT μπορεί να χρησιμοποιηθεί με αξιοπιστία για την εξαγωγή διαγραμμάτων αιτίου-αποτελέσματος σε σχέση με τον τύπο του ατυχήματος.



### 3.3.2. Σημαία του πλοίου (Flag)

Πίνακας 2: Αναλυτική κατανομή ατυχημάτων συναρτήσει της σημαίας

Flag	Collision		Contact		Wrecked/Stranded		Hull/Mchy.		Fire/Explosion		Total	
Bahamas	0.88%	7	0.38%	3	0.38%	3	0.88%	7	0.51%	4	3.03%	24
Canada	0.25%	2	0.38%	3	0.76%	6	1.26%	10	0.51%	4	3.16%	25
Cayman Islands	0.38%	3	0.13%	1	0.25%	2	0.51%	4	0.00%	0	1.26%	10
China	0.38%	3	0.00%	0	0.38%	3	0.63%	5	0.13%	1	1.52%	12
Cyprus	0.76%	6	0.38%	3	0.88%	7	1.64%	13	0.25%	2	3.92%	31
Denmark (Dis)	1.01%	8	0.13%	1	0.38%	3	1.90%	15	0.13%	1	3.54%	28
Gibraltar	0.63%	5	0.38%	3	0.13%	1	1.01%	8	0.00%	0	2.15%	17
Greece	0.25%	2	0.00%	0	0.63%	5	0.88%	7	0.00%	0	1.77%	14
Italy	1.26%	10	0.13%	1	1.14%	9	1.01%	8	0.76%	6	4.30%	34
Isle Of Man	0.38%	3	0.00%	0	0.38%	3	0.38%	3	0.00%	0	1.14%	9
Japan	2.28%	18	0.00%	0	0.38%	3	0.38%	3	0.25%	2	3.29%	26
Korea	2.02%	16	0.00%	0	0.25%	2	1.39%	11	0.25%	2	3.92%	31
Liberia	2.40%	19	1.14%	9	1.39%	11	2.40%	19	0.88%	7	8.22%	65
Malaysia	0.00%	0	0.00%	0	0.25%	2	0.63%	5	0.51%	4	1.39%	11
Malta	2.15%	17	1.01%	8	1.01%	8	4.42%	35	0.25%	2	8.85%	70
Marshall Islands	2.78%	22	1.01%	8	1.90%	15	3.16%	25	0.25%	2	9.10%	72
Netherlands	0.38%	3	0.13%	1	0.13%	1	1.39%	11	0.51%	4	2.53%	20
Norway (Nis)	1.52%	12	0.63%	5	1.90%	15	2.40%	19	0.51%	4	6.95%	55
Panama	5.94%	47	0.88%	7	2.65%	21	4.30%	34	1.64%	13	15.42%	122
Portugal (Mar)	0.00%	0	0.76%	6	0.51%	4	0.25%	2	0.13%	1	1.64%	13
Russia	0.51%	4	0.13%	1	0.76%	6	1.01%	8	0.00%	0	2.40%	19
Singapore	1.39%	11	0.63%	5	1.01%	8	1.90%	15	0.38%	3	5.31%	42
Sweden	0.38%	3	0.25%	2	0.13%	1	0.88%	7	0.76%	6	2.40%	19
Turkey	1.01%	8	0.13%	1	0.25%	2	0.88%	7	0.51%	4	2.78%	22
Total	28.95%	229	8.60%	68	17.83%	141	35.52%	281	9.10%	72	100.00%	791

Μέσω της διαδικασίας του στατιστικού ελέγχου προέκυψαν:

$$Df = 92 \text{ και } \chi^2 = 173,16 \quad , \quad \text{άρα } P\text{value} < 0,00001 < 0,05$$

Η τιμή αυτή δείχνει ότι η στατιστική σημαντικότητα αυτού του συστήματος δεδομένων είναι εξαιρετικά μεγάλη. Επομένως, η σημαία μπορεί να χρησιμοποιηθεί με αξιοπιστία.

### 3.3.3. Ζώνη ατυχήματος (SIS Zone)

Πίνακας 3: Αναλυτική κατανομή ατυχημάτων συναρτήσει της ζώνης ατυχήματος

SIS ZONE	Collision		Contact		Wrecked/Stranded		Hull/Mchy.		Fire/Explosion		Total	
Australasia	0.23%	2	0.11%	1	0.11%	1	0.34%	3	0.11%	1	0.91%	8
Baltic	1.71%	15	0.46%	4	1.71%	15	1.14%	10	0.91%	8	5.94%	52
Bay Of Bengal	0.34%	3	0.00%	0	0.57%	5	1.26%	11	0.11%	1	2.28%	20
Br.Isles N.Sea Chnl. Iiscay	4.91%	43	2.74%	24	2.74%	24	10.96%	96	1.48%	13	22.83%	200
Canadian Arctic & Alaska	0.00%	0	0.00%	0	0.57%	5	0.00%	0	0.00%	0	0.57%	5
China Japan & Korea	6.16%	54	0.68%	6	1.37%	12	3.88%	34	0.91%	8	13.01%	114
E.Mediterranean & Black Sea	2.97%	26	0.34%	3	1.48%	13	3.54%	31	0.91%	8	9.25%	81
East Africa Coast	0.11%	1	0.34%	3	0.00%	0	0.57%	5	0.11%	1	1.14%	10
Great Lakes	0.91%	8	1.03%	9	0.80%	7	1.26%	11	0.11%	1	4.11%	36
Gulf Of Mexico	2.74%	24	0.57%	5	1.14%	10	0.80%	7	0.80%	7	6.05%	53
Iceland	0.11%	1	0.11%	1	0.23%	2	0.34%	3	0.34%	3	1.14%	10
Indian Ocean & Antarctic	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.34%	3	0.00%	0	0.34%	3
Kiel Canal	0.80%	7	0.00%	0	0.57%	5	0.68%	6	0.11%	1	2.17%	19
Newfoundland	0.34%	3	0.23%	2	0.11%	1	1.14%	10	0.23%	2	2.05%	18
North America Pacific Coast	0.11%	1	0.11%	1	0.11%	1	0.80%	7	0.00%	0	1.14%	10
North Atlantic	0.23%	2	0.00%	0	0.11%	1	1.14%	10	0.23%	2	1.71%	15
North Pacific	0.11%	1	0.00%	0	0.00%	0	0.23%	2	0.11%	1	0.46%	4
Panama Canal	0.11%	1	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.11%	1
Red Sea	0.11%	1	0.00%	0	0.57%	5	0.34%	3	0.00%	0	1.03%	9
Russia Arctic & Bering Sea	0.23%	2	0.00%	0	0.00%	0	0.34%	3	0.00%	0	0.57%	5
S.Atlantic E.Coast S.America	0.80%	7	0.46%	4	0.68%	6	0.46%	4	0.57%	5	2.97%	26
South China & East Indies	3.54%	31	0.80%	7	1.94%	17	1.83%	16	0.68%	6	8.79%	77
South Pacific	0.00%	0	0.00%	0	0.11%	1	0.11%	1	0.00%	0	0.23%	2
Suez Canal	0.00%	0	0.00%	0	0.23%	2	0.11%	1	0.00%	0	0.34%	3
U.S. Eastern Sea Board	0.68%	6	0.46%	4	0.34%	3	0.68%	6	0.11%	1	2.28%	20
W.Mediterranean	0.91%	8	0.23%	2	0.80%	7	1.60%	14	0.68%	6	4.22%	37
West Africa Coast	0.34%	3	0.11%	1	0.68%	6	1.26%	11	0.23%	2	2.63%	23
West Coast South America	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.11%	1	0.11%	1
West Indies	0.57%	5	0.00%	0	0.57%	5	0.11%	1	0.34%	3	1.60%	14
Total	29.11%	255	8.79%	77	17.58%	154	35.27%	309	9.25%	81	100.00%	876

Μέσω της διαδικασίας του στατιστικού ελέγχου προέκυψαν:

$$Df = 116 \text{ και } \chi^2 = 224,16 \text{ , } \acute{\alpha}\rho\alpha \text{ Pvalue} < 0,00001 < 0,05$$

Η τιμή αυτή δείχνει ότι η στατιστική σημαντικότητα αυτού του συστήματος δεδομένων είναι εξαιρετικά μεγάλη. Επομένως, η ζώνη ατυχήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί με αξιοπιστία.

### **3.3.4. Έτος ατυχήματος (Year of casualty)**

Πίνακας 4: Αναλυτική κατανομή ατυχημάτων συναρτήσει του έτους ατυχήματος

Year of casualty	Collision		Contact		Wrecked/Stranded		Hull/Mchy.		Fire/Explosion		Total	
1997	0.56%	5	0.11%	1	0.34%	3	0.56%	5	0.23%	2	1.81%	16
1998	0.23%	2	0.23%	2	0.00%	0	0.90%	8	0.11%	1	1.47%	13
1999	0.45%	4	0.34%	3	0.34%	3	0.56%	5	0.00%	0	1.69%	15
2000	0.56%	5	0.34%	3	0.45%	4	0.68%	6	0.11%	1	2.14%	19
2001	0.79%	7	0.11%	1	0.45%	4	0.79%	7	0.11%	1	2.26%	20
2002	0.79%	7	0.11%	1	0.79%	7	0.45%	4	0.23%	2	2.37%	21
2003	0.56%	5	0.23%	2	0.56%	5	0.68%	6	0.34%	3	2.37%	21
2004	1.35%	12	0.34%	3	0.45%	4	0.68%	6	0.79%	7	3.61%	32
2005	1.13%	10	0.23%	2	0.79%	7	1.35%	12	0.23%	2	3.72%	33
2006	1.47%	13	0.23%	2	0.45%	4	1.13%	10	0.45%	4	3.72%	33
2007	1.81%	16	0.79%	7	1.58%	14	3.16%	28	0.34%	3	7.67%	68
2008	2.71%	24	1.02%	9	2.03%	18	3.16%	28	0.56%	5	9.48%	84
2009	2.60%	23	0.90%	8	2.48%	22	3.50%	31	1.02%	9	10.50%	93
2010	2.60%	23	0.34%	3	2.37%	21	3.84%	34	0.56%	5	9.71%	86
2011	2.37%	21	0.56%	5	0.79%	7	2.60%	23	0.68%	6	7.00%	62
2012	2.26%	20	0.34%	3	1.02%	9	2.14%	19	1.02%	9	6.77%	60
2013	1.58%	14	0.68%	6	0.45%	4	2.37%	21	0.68%	6	5.76%	51
2014	1.81%	16	0.79%	7	0.90%	8	2.37%	21	0.68%	6	6.55%	58
2015	1.92%	17	0.34%	3	0.68%	6	2.71%	24	0.45%	4	6.09%	54
2016	1.47%	13	0.68%	6	0.79%	7	1.69%	15	0.68%	6	5.30%	47
Total	29.01%	257	8.69%	77	17.72%	157	35.33%	313	9.26%	82	100.00%	886

Μέσω της διαδικασίας του στατιστικού ελέγχου προέκυψαν:

$Df = 76$  και  $\chi^2 = 64,31$  , άρα  $Pvalue = 0,83 > 0,05$

Η τιμή αυτή δείχνει ότι το έτος ατυχήματος ΔΕΝ μπορεί να χρησιμοποιηθεί με αξιοπιστία.

### **3.3.5. Έτος κατασκευής του πλοίου (Year of build)**

Πίνακας 5: Αναλυτική κατανομή ατυχημάτων συναρτήσει του έτους κατασκευής του πλοίου

Year of build	Collision		Contact		Wrecked/Stranded		Hull/Mchy.		Fire/Explosion		Total	
1985-1986	1.47%	13	0.00%	0	1.02%	9	2.37%	21	0.79%	7	5.64%	50
1987-1988	1.13%	10	0.45%	4	0.79%	7	2.03%	18	0.34%	3	4.74%	42
1989-1990	1.02%	9	0.45%	4	0.45%	4	2.37%	21	0.56%	5	4.85%	43
1991-1992	1.92%	17	0.45%	4	1.24%	11	3.61%	32	0.90%	8	8.13%	72
1993-1994	0.68%	6	0.68%	6	2.14%	19	1.13%	10	0.56%	5	5.19%	46
1995-1996	1.92%	17	0.34%	3	0.56%	5	2.82%	25	0.56%	5	6.21%	55
1997-1998	2.48%	22	0.79%	7	0.79%	7	2.26%	20	0.90%	8	7.22%	64
1999-2000	2.37%	21	0.68%	6	1.47%	13	2.14%	19	0.56%	5	7.22%	64
2001-2002	1.13%	10	0.45%	4	0.79%	7	2.14%	19	0.68%	6	5.19%	46
2003-2004	4.06%	36	0.90%	8	1.69%	15	3.05%	27	0.90%	8	10.61%	94
2005-2006	2.93%	26	1.24%	11	3.05%	27	3.84%	34	0.56%	5	11.63%	103
2007-2008	4.06%	36	1.13%	10	2.37%	21	4.29%	38	1.13%	10	12.98%	115
2009-2010	2.71%	24	0.79%	7	0.79%	7	2.37%	21	0.68%	6	7.34%	65
2011-2012	1.02%	9	0.11%	1	0.11%	1	0.90%	8	0.11%	1	2.26%	20
2013-2015	0.11%	1	0.23%	2	0.45%	4	0.00%	0	0.00%	0	0.79%	7
Total	29.01%	257	8.69%	77	17.72%	157	35.33%	313	9.26%	82	100.00%	886

Μέσω της διαδικασίας του στατιστικού ελέγχου προέκυψαν:

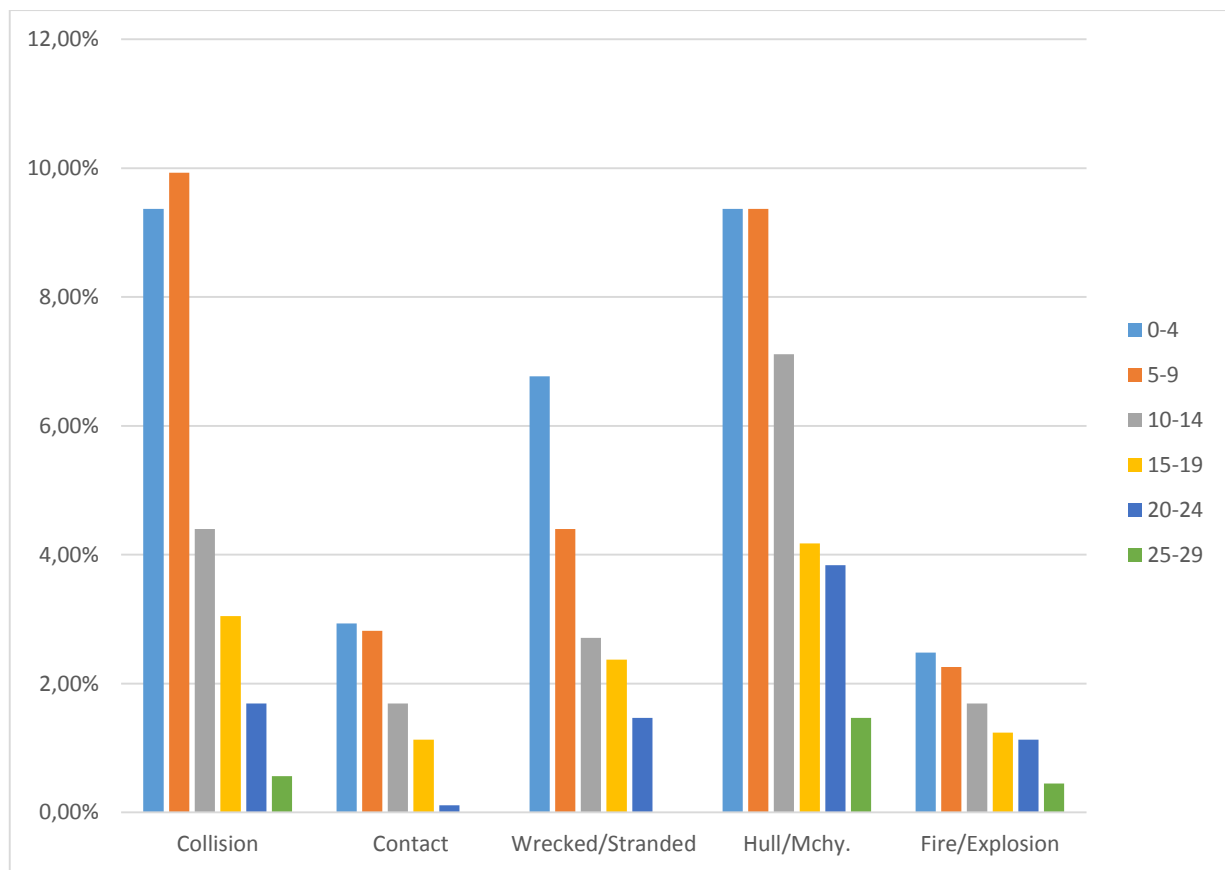
$Df = 56$  και  $\chi^2 = 69,24$  , άρα  $Pvalue = 0,11 > 0,05$

Η τιμή αυτή δείχνει ότι το έτος κατασκευής του πλοίου δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί με αξιοπιστία.

### 3.3.6. Ηλικία του πλοίου (Age of ship)

Πίνακας 6: Αναλυτική κατανομή ατυχημάτων συναρτήσει της ηλικίας του πλοίου

Age of ship	Collision		Contact		Wrecked/Stranded		Hull/Mchy.		Fire/Explosion		Total	
0-4	9.37%	83	2.93%	26	6.77%	60	9.37%	83	2.48%	22	30.93%	274
5-9	9.93%	88	2.82%	25	4.40%	39	9.37%	83	2.26%	20	28.78%	255
10-14	4.40%	39	1.69%	15	2.71%	24	7.11%	63	1.69%	15	17.61%	156
15-19	3.05%	27	1.13%	10	2.37%	21	4.18%	37	1.24%	11	11.96%	106
20-24	1.69%	15	0.11%	1	1.47%	13	3.84%	34	1.13%	10	8.24%	73
25-29	0.56%	5	0.00%	0	0.00%	0	1.47%	13	0.45%	4	2.48%	22
Total	29.01%	257	8.69%	77	17.72%	157	35.33%	313	9.26%	82	100.00%	886



Σχήμα 9: Αναλυτική κατανομή ατυχημάτων συναρτήσει της ηλικίας του πλοίου

Μέσω της διαδικασίας του στατιστικού ελέγχου προέκυψαν:

$Df = 20$  και  $\chi^2 = 36,02$  , άρα  $Pvalue = 0,015 < 0,05$

Η τιμή αυτή δείχνει ότι η ηλικία του πλοίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί με αξιοπιστία.

### 3.4. Συμπεράσματα του στατιστικού ελέγχου ανεξαρτησίας

Στον πίνακα 10 φαίνονται συγκεντρωτικά οι τιμές των  $\chi^2$  και των Pvalue για όλα τα δεδομένα που ελέγχθηκαν παραπάνω.

Πίνακας 7: Τιμές Pί και  $\chi^2$  για όλα τα δεδομένα

	DWT	Flag	SIS Zone	Year of casualty	Year of build	Age of ship
$\chi^2$	38,67	173,16	224,16	64,31	83,61	36,02
Pvalue	0,70%	0,00%	0,00%	83,00%	11,00%	1,50%

Όπως είναι εμφανές, η ακρίβεια δεν είναι ικανοποιητική για τα Year of casualty και Year of build, καθώς ο στατιστικός έλεγχος τα καθιστά υπερβολικά ακατάλληλα να συσχετιστούν με το είδος του ατυχήματος. Συνεπώς, θα χρησιμοποιηθούν τα DWT, Flag, SIS Zone, Age of ship.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα κενή.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ CHEMICAL TANKER**

Στην Ελλάδα, η στατιστική ανάλυση ναυτικών ατυχημάτων αποτελεί έναν πολύ σημαντικό κλάδο μελέτης που απασχολεί εδώ και περίπου μια 15ετία. Το ενδιαφέρον φαίνεται να είναι έντονο, λόγω της πολύ μεγάλης αξίας του κλάδου αυτού για τη ναυτιλία.

Η πρώτη στατιστική ανάλυση ναυτικών ατυχημάτων πραγματοποιήθηκε το 2002 από τον Κωνσταντίνο Γκιζιάκη[28], στο πλαίσιο της προσπάθειάς του να εκτιμήσει το ρίσκο περιβαλλοντικής μόλυνσης που προκαλείται από ατυχήματα πλοίων. Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι το 60% των ατυχημάτων σημειώθηκαν σε λιμένες και σε ζώνες κοντά στις ακτές. Τα μεγάλα δεξαμενόπλοια που ενεπλάκησαν σε ατυχήματα παρουσίαζαν σχεδόν επτά φορές υψηλότερο κίνδυνο από τα μικρότερα δεξαμενόπλοια.

Το 2006, ο Απόστολος Παπανικολάου και η Ελευθερία Ηλιοπούλου[29] διενήργησαν στατιστική ανάλυση ατυχημάτων που συνέβησαν μεταξύ του 1978 και του 2003 και αφορούσαν μεγάλα δεξαμενόπλοια από 80.000 DWT και πάνω, με σκοπό την ανάπτυξη μεθοδολογιών πρόβλεψης ατυχημάτων. Για την έρευνα αυτή χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων της LMIS και η ανάλυση έγινε με γνώμονα τον τύπο του προκληθέντος ατυχήματος. Ωστόσο, όπως επισημαίνεται στο άρθρο, η χρήση των αποτελεσμάτων της συγκεκριμένης στατιστικής ανάλυσης για την πρόβλεψη σοβαρών ναυτικών ατυχημάτων πρέπει να είναι πολύ προσεκτική, λόγω του περιορισμένου αριθμού ατυχημάτων και της πολυπλοκότητας των παραγόντων που τα προξένησαν.

Μέχρι σήμερα ακολούθησαν 2 ακόμη άρθρα των Ηλιοπούλου και Παπανικολάου που αφορούν στατιστικές αναλύσεις ναυτικών ατυχημάτων. Το 2013, συνεργάστηκαν με τους Rainner Hamann και Pavel Golyshev[30] και μελέτησαν τα ναυτικά ατυχήματα σε containerships που έγιναν την περίοδο 1990-2012. Για την έρευνα αυτή χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων της Sea Web και κατέληξαν πως η μεγαλύτερη συχνότητα για ένα σοβαρό ατύχημα την τελευταία δεκαετία (2002-2012) παρουσιάζεται στα ατυχήματα σύγκρουσης και μάλιστα είναι 2,5 φορές μεγαλύτερη από αυτήν της προηγούμενης δεκαετίας.

Τέλος, η πιο σύγχρονη μελέτη των Ηλιοπούλου και Παπανικολάου που αφορά στατιστική ανάλυση ναυτικών ατυχημάτων πραγματοποιήθηκε το 2014 σε συνεργασία με το Νικόλαο Βεντίκο και τον Κωνσταντίνο Μπίθα[31]. Αξιοποιήθηκαν δεδομένα ατυχημάτων από τη Sea Web που αφορούσαν ατυχήματα πολλών διαφορετικών τύπων πλοίων στο διάστημα 1990-2012. Σκοπός της μελέτης αυτής ήταν να εξεταστεί το επίπεδο ασφαλείας για την πλειοψηφία των διαφορετικών τύπων πλοίων και να διερευνηθεί κατά πόσο τα αποτελέσματα μπορούν να συσχετιστούν με αυτά μιας παλιότερης μελέτης του DNV.

Η στατιστική ανάλυση που θα πραγματοποιηθεί στο παρόν κεφάλαιο περιλαμβάνει την εξαγωγή διαγραμμάτων κατανομής ατυχημάτων για κάθε ένα από τα 5 μελετούμενα είδη ατυχήματος. Διαπιστώθηκε, μέσω του στατιστικού ελέγχου, ότι υπάρχουν 4 διαφορετικοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τον τύπο ατυχήματος και πάνω στους οποίους δύναται να βασιστεί με ικανοποιητική ακρίβεια η εξόρυξη των δεδομένων. Ειδικότερα, θα μελετηθεί η επίδραση των:



α) DWT

β) Σημαία του πλοίου (Flag)

γ) Ζώνη ατυχήματος (SIS Zone)

δ) Ηλικία του πλοίου (Age of ship)

Αντίθετα, το έτος ναυπήγησης και το έτος πραγματοποίησης του ατυχήματος κρίθηκε ότι δε μπορούν να αποτελέσουν παράγοντες επίδρασης στον τύπο του ατυχήματος. Επομένως, δεν έγινε προσπάθεια να εξαχθούν διαγράμματα συναρτήσεως αυτών.

Τέλος, θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν οι εξαγόμενες συχνότητες των ατυχημάτων ανά έτος συναρτήσεως του μεγέθους και της ηλικίας του πλοίου, τόσο συγκεντρωτικά όσο και μεμονωμένα για κάθε τύπο ατυχήματος.

#### **Κεφάλαιο 4.1. Στατιστική ανάλυση ατυχημάτων**

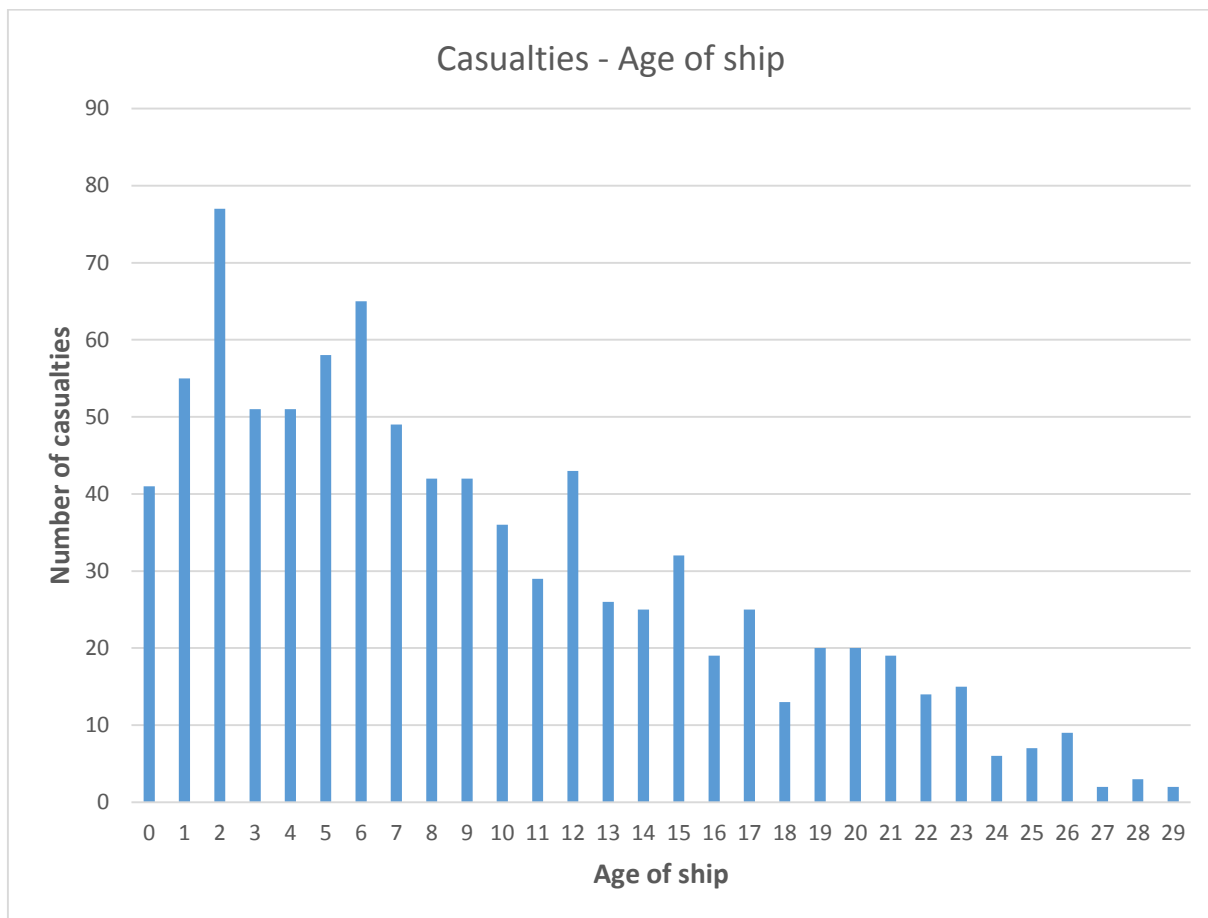
Ακολουθεί η στατιστική ανάλυση των ατυχημάτων που συνέβησαν από το 1997 μέχρι το 2016 ανά κατηγορία ατυχήματος. Στον Πίνακα 8 εμφανίζεται η κατανομή των ατυχημάτων αυτών.

*Πίνακας 8: Κατανομή ατυχημάτων ανά κατηγορία ατυχήματος*

<b>Casualty type</b>	<b>Accidents</b>	<b>Percentage</b>
Collision	257	29.01%
Contact	77	8.69%
Fire/Explosion	82	9.26%
Hull/Mchy. Damage	313	35.33%
Wrecked/Stranded	157	17.72%

Η ανάλυση περιλαμβάνει τα 886 από τα συνολικά 896 ατυχήματα που εξήχθησαν, καθώς υπάρχουν και 10 ατυχήματα που δεν εντάσσονται σε καμία από τις 5 βασικές κατηγορίες ατυχημάτων και δε μελετήθηκαν, αφού λόγω του πολύ μικρού δείγματος δε μπορούν να παρέχουν αξιόπιστες πληροφορίες. Συγκεκριμένα, εξαιρούνται της ανάλυσης 1 ατύχημα της κατηγορίας "Missing", 1 ατύχημα της κατηγορίας "War Loss/Hostilities" και 8 ατυχήματα της κατηγορίας "Foundered".

Επιπλέον, πριν την εξειδικευμένη ανάλυση με βάση τον τύπο ατυχήματος, παρατίθεται το Σχήμα 12 στο οποίο φαίνεται συγκεντρωτικά η κατανομή των ατυχημάτων ανάλογα με την ηλικία του πλοίου, κάτι που δε συμπεριλήφθηκε στο κεφάλαιο παρουσίασης των δεδομένων, αφού η ηλικία του πλοίου δεν εξήχθη άμεσα σε δεδομένο από τη βάση Seaweb, αλλά αποφασίστηκε στην πορεία να προσδιοριστεί και να χρησιμοποιηθεί. Η πληρότητα όσον αφορά την ηλικία ισούται με 100%.

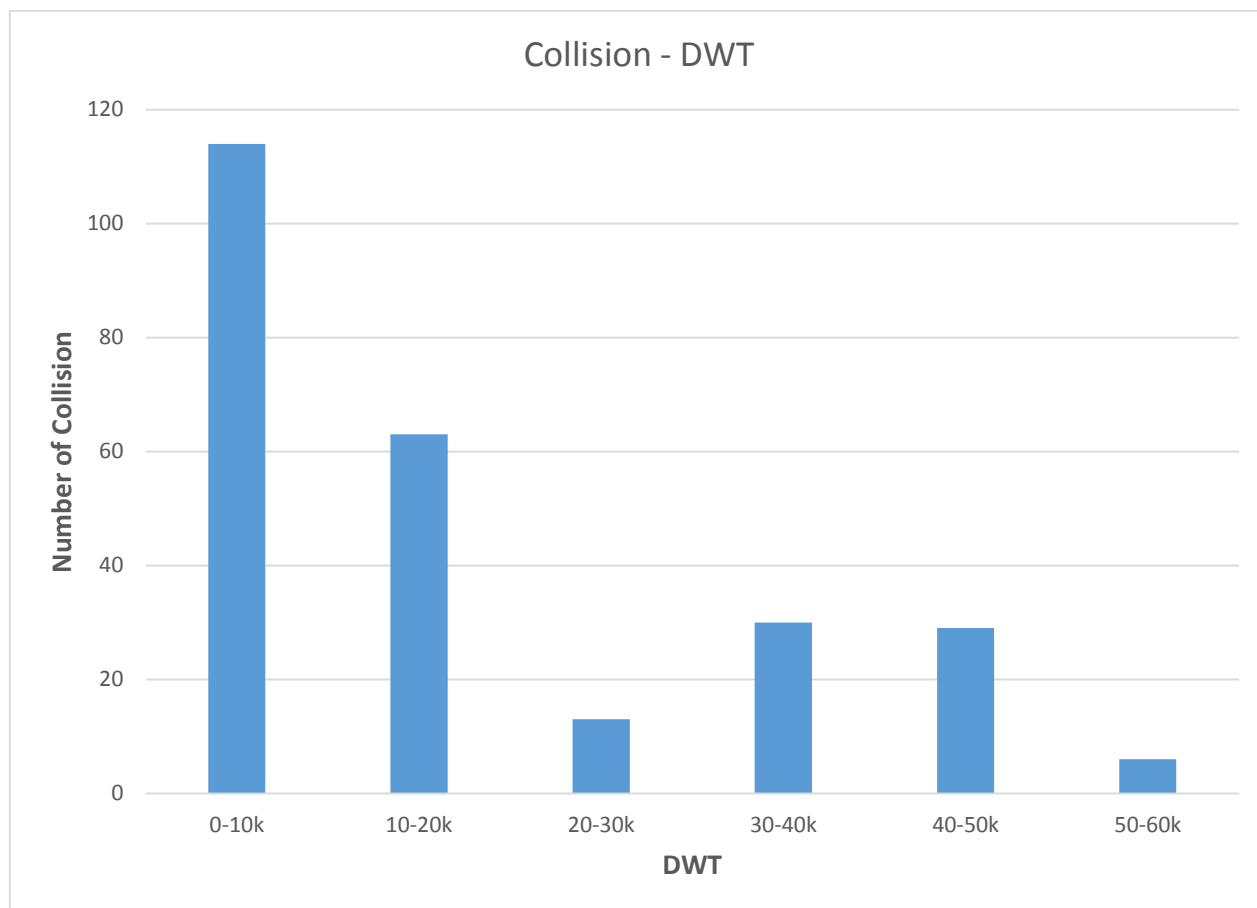


Σχήμα 10: Ατυχήματα συναρτήσει της ηλικίας του πλοίου

Όπως φαίνεται, η πλειοψηφία και συγκεκριμένα το 71% των ατυχημάτων αφορούν πλοία ηλικίας μεταξύ 0 και 12 χρόνων, ενώ παρατηρείται σημαντική σταδιακή μείωση των ατυχημάτων σε πλοία ηλικίας άνω των 12 ετών. Γενικά, παρατηρείται ότι με εξαίρεση την πρώτη ίσως δετία, όπου οι τιμές αυξομειώνονται, η κατανομή των ατυχημάτων βαίνει φθίνουσα όσο αυξάνεται το ηλικιακό έτος των εμπλεκόμενων στα ατυχήματα πλοίων.

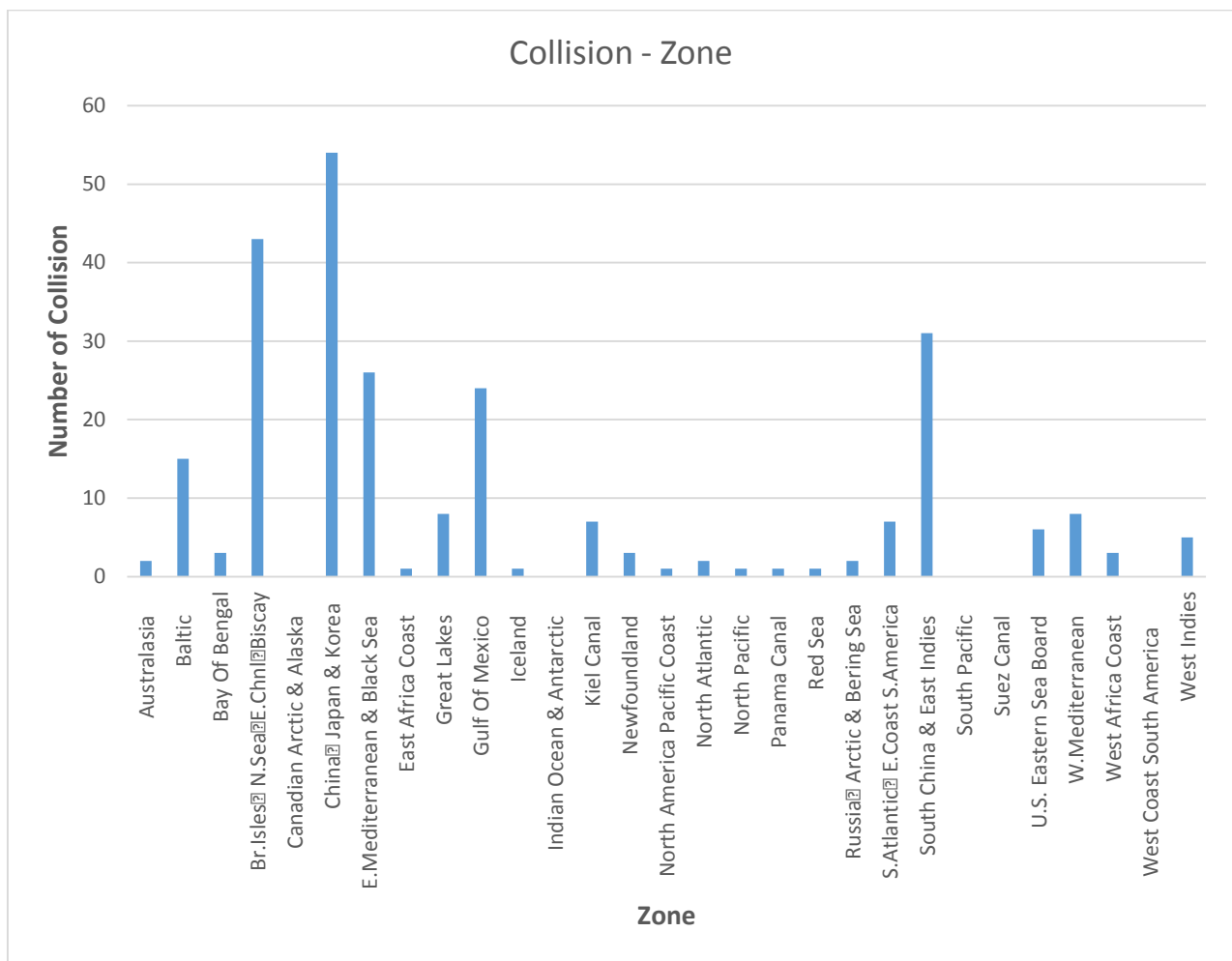
### **4.1.1. Collision**

Στην κατηγορία της σύγκρουσης (Collision) συμπεριλαμβάνονται ατυχήματα κατά τα οποία υπάρχει σύγκρουση δύο πλοίων ανεξαρτήτως αν τα πλοία είναι εν πλω, αγκυροβολημένα ή δεμένα στην προβλήτα. Δεν περιλαμβάνονται ατυχήματα σε αυτήν την κατηγορία στα οποία υπήρξε πρόσκρουση ενός πλοίου με ένα ναυάγιο[32].



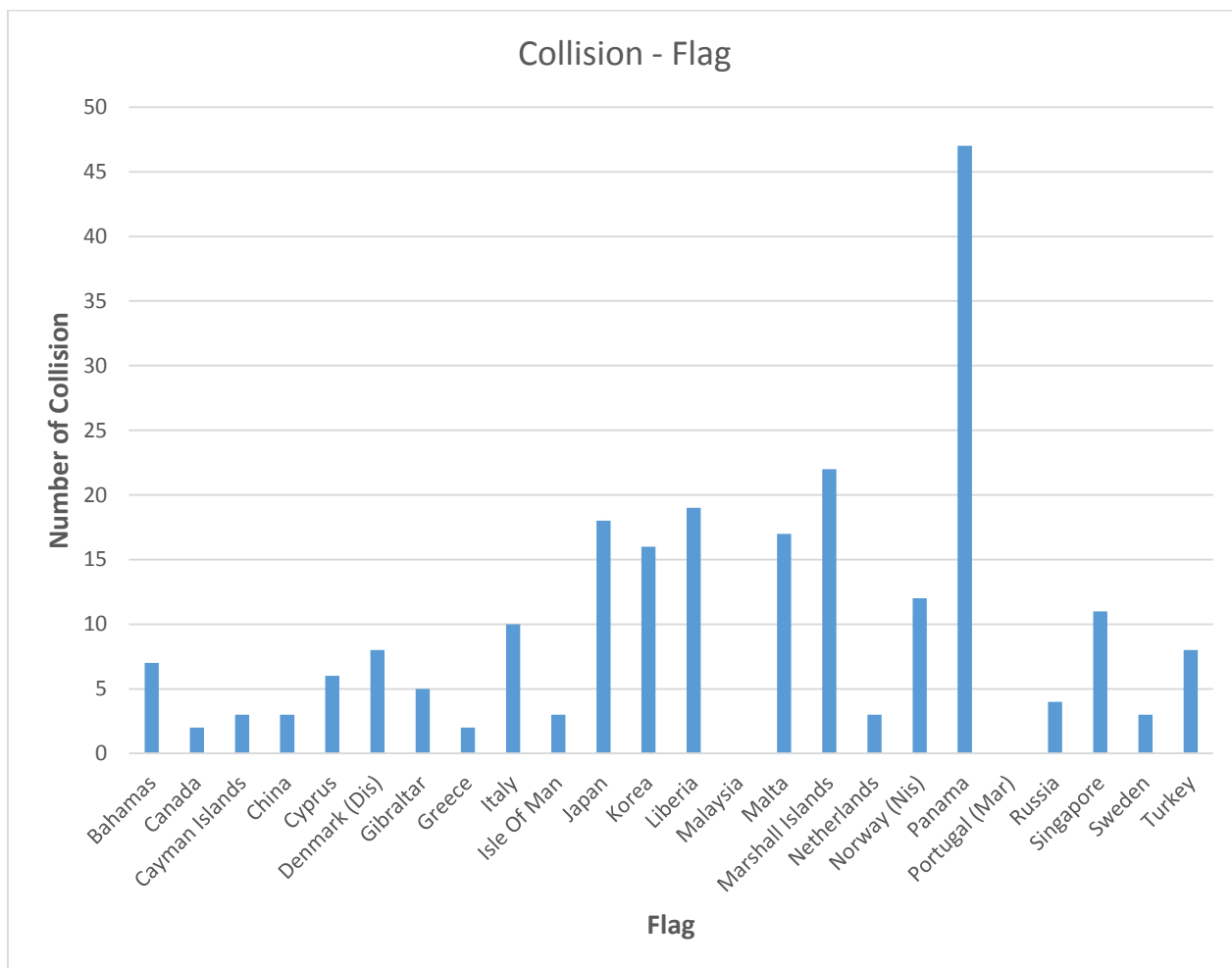
Σχήμα 11: Κατανομή ατυχημάτων Collision συναρτήσει του DWT

Στο Σχήμα 11 παρουσιάζεται η κατανομή των Collision ατυχημάτων συναρτήσει του DWT. Φαίνεται ότι τα πλοία της ομάδας 0-10.000 DWT εμφανίζουν τα περισσότερα ατυχήματα σύγκρουσης με ποσοστό 44,71% και ακολουθεί η ομάδα 10.000-20.000 DWT με 24,71%. Οι ομάδες βαρών 30.000-40.000 και 40.000-50.000 εμφανίζουν 11,76% και 11,37% αντίστοιχα, η ομάδα 20.000-30.000 5,10%, ενώ τα λιγότερα ατυχήματα σύγκρουσης αφορούν πλοία μεταξύ 50.000 και 60.000 DWT με ποσοστό μόλις 2,35%. Προφανώς, το ποσοστό των ατυχημάτων Collision που καταλογίζεται σε μικρά δεξαμενόπλοια μέχρι 10.000 DWT είναι τεράστιο σε σχέση με τα υπόλοιπα.



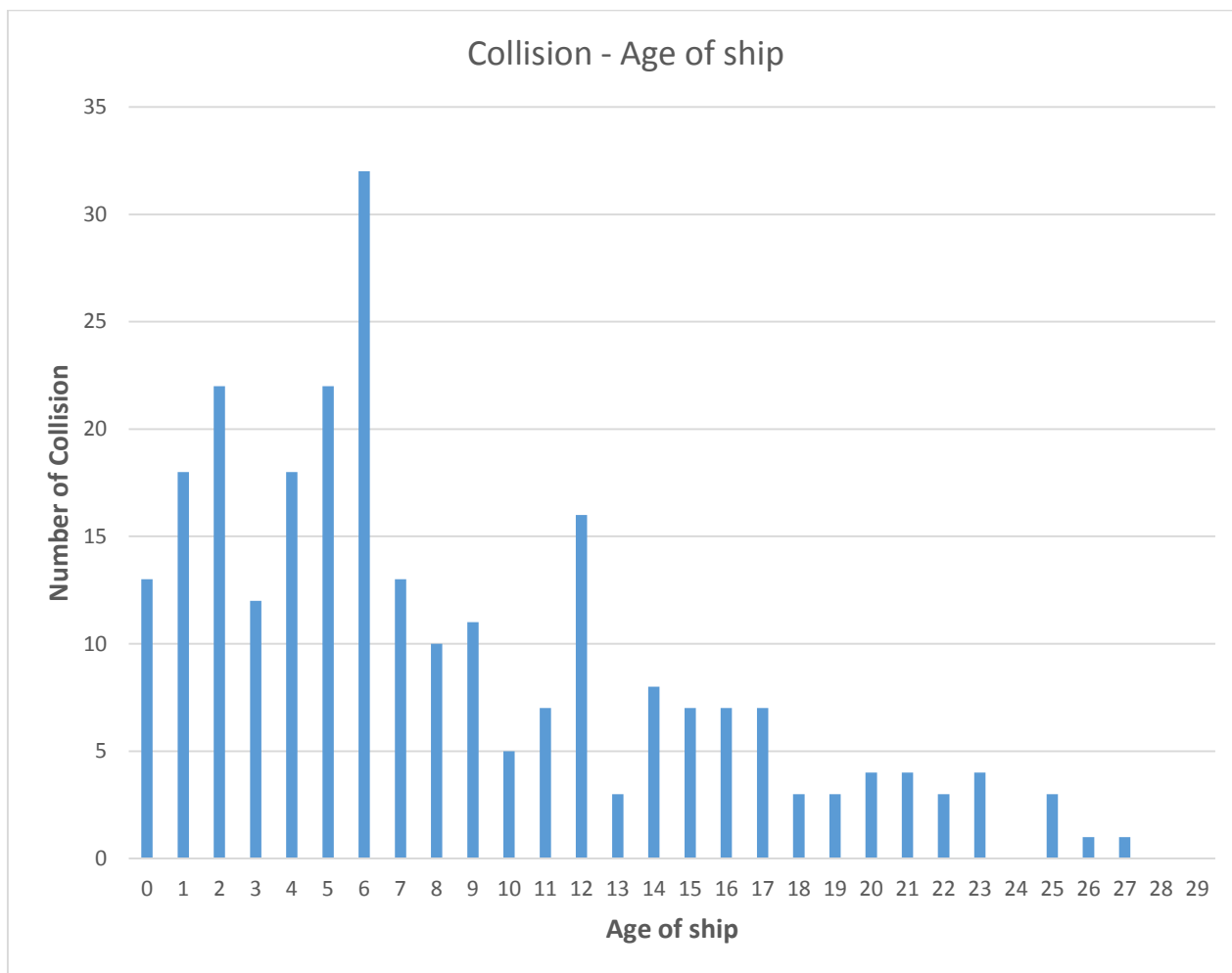
Σχήμα 12: Κατανομή ατυχημάτων Collision συναρτήσει της ζώνης ατυχήματος

Στο Σχήμα 12 εμφανίζεται η κατανομή των Collision ατυχημάτων συναρτήσει της ζώνης ατυχήματος. Τα περισσότερα ατυχήματα έχουν συμβεί στις ακόλουθες περιοχές: “China Japan & Korea” (21,18%), “Br. Isles N. Sea E. Chnl Biscay” (16,86%), “South China & East Indies” (12,16%). Η κατανομή των ατυχημάτων Collision δεν ακολουθεί την συνολική κατανομή των ατυχημάτων για τις προαναφερθείσες περιοχές. Πιο συγκεκριμένα, τα ποσοστά επί των συνολικών ατυχημάτων που αντιστοιχούν σε αυτές είναι 13,43%, 22,69% και 8,80% αντίστοιχα. Άξιο σχολιασμού είναι το γεγονός ότι τα περισσότερα ατυχήματα έχουν συμβεί στην περιοχή “Br. Isles N. Sea E. Chnl Biscay” ενώ τα περισσότερα Collision ατυχήματα έχουν συμβεί στην περιοχή “China Japan & Korea”.



Σχήμα 13: Κατανομή ατυχημάτων Collision συναρτήσει της σημαίας

Στο Σχήμα 13 εμφανίζεται η κατανομή των Collision ατυχημάτων συναρτήσει της σημαίας του πλοίου. Όπως φαίνεται, η σημαία που εμφανίζει τα περισσότερα Collision ατυχήματα είναι μακράν ο Παναμάς (20,52%) με 47 ατυχήματα, ενώ όλες οι υπόλοιπες σημαίες βρίσκονται κάτω από το 10%. Προφανώς, το ποσοστό των ατυχημάτων Collision που καταλογίζεται στη σημαία του Παναμά σε σχέση με τις υπόλοιπες είναι αξιοσημείωτο. Αξίζει να σχολιαστεί ότι η σημαία του Παναμά κατέχει την πρώτη θέση και στη συγκεντρωτική κατανομή των ατυχημάτων.

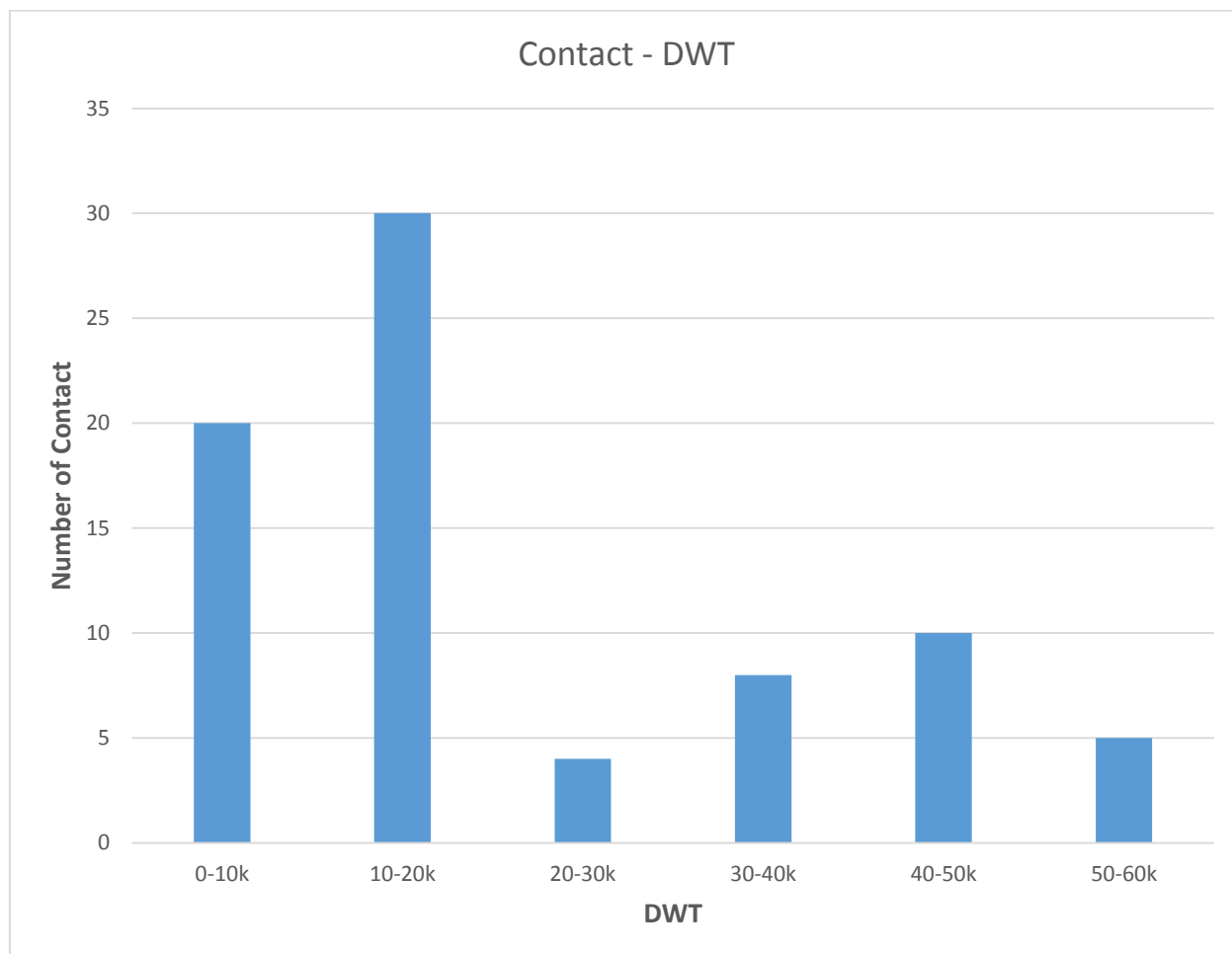


Σχήμα 14: Κατανομή ατυχημάτων Collision συναρτήσει της ηλικίας του πλοίου

Στο Σχήμα 14 φαίνεται η κατανομή των ατυχημάτων Collision συναρτήσει της ηλικίας που είχε το πλοίο όταν συνέβη το ατύχημα. Η υψηλότερη τιμή ατυχημάτων εμφανίζεται κατά τον 6<sup>ο</sup> χρόνο λειτουργίας. Παρατηρείται ότι το 77,43% των ατυχημάτων έχουν συμβεί μέχρι το 12<sup>ο</sup> ηλικιακό έτος των πλοίων, ενώ μετά το 17<sup>ο</sup> ηλικιακό έτος έχουν συμβεί λίγα ατυχήματα σύγκρουσης και συγκεκριμένα περίπου το 10%. Δεν εμφανίζονται μεγάλες αποκλίσεις σε σχέση με τη συγκεντρωτική κατανομή των ατυχημάτων. Η γήρανση του πλοίου δείχνει να μην αυξάνει την ύπαρξη ατυχημάτων σύγκρουσης.

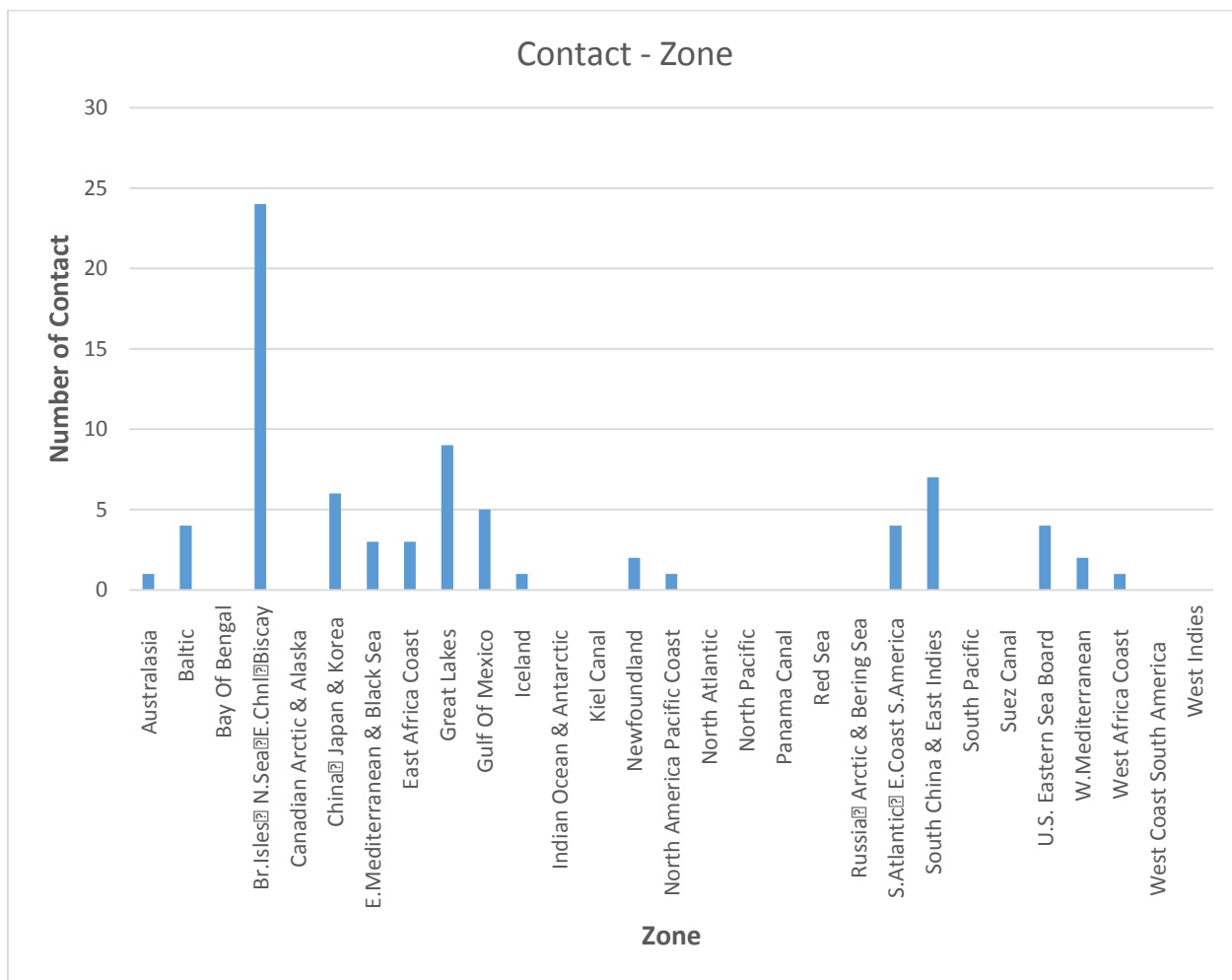
#### **4.1.2. Contact**

Στην κατηγορία της επαφής (Contact) συμπεριλαμβάνονται ατυχήματα στα οποία το πλοίο απρόσμενα και βίαια έρχεται σε επαφή με επιπλέοντα αντικείμενα ή σταθερές εγκαταστάσεις. Επίσης, ατύχημα επαφής θεωρείται η πρόσκρουση σε προεξέχοντες βράχους[32].



Σχήμα 15: Κατανομή ατυχημάτων Contact συναρτήσει του DWT

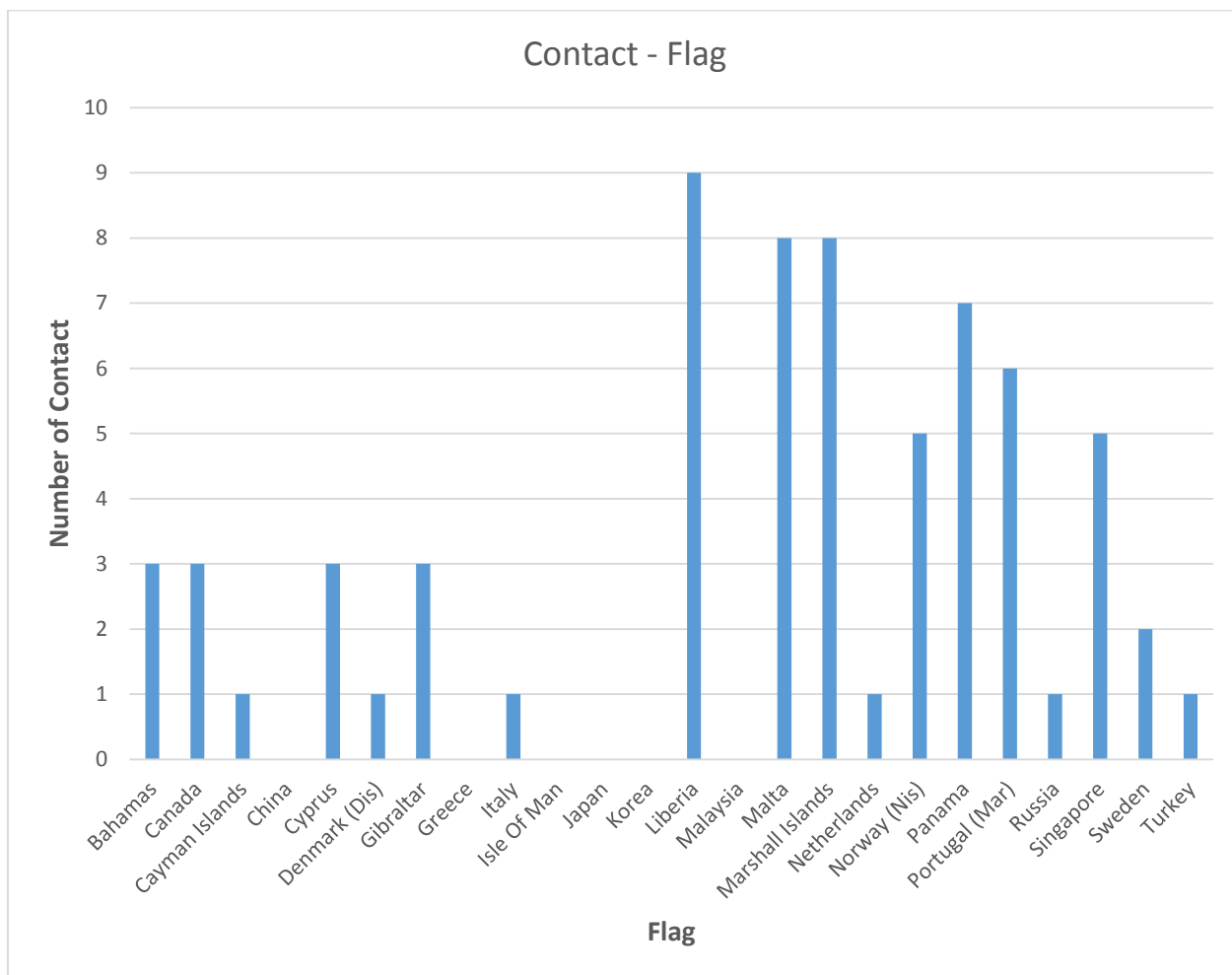
Στο Σχήμα 15 παρουσιάζεται η κατανομή των Contact ατυχημάτων συναρτήσει του DWT. Φαίνεται ότι τα πλοία της ομάδας 10.000-20.000 DWT εμφανίζουν τα περισσότερα ατυχήματα επαφής με ποσοστό 38,96% και ακολουθεί η ομάδα 0-10.000 DWT με 25,97%. Οι ομάδες βαρών 30.000-40.000 και 40.000-50.000 εμφανίζουν 10,39% και 12,99% αντίστοιχα, η ομάδα 50.000-60.000 6,49%, ενώ τα λιγότερα ατυχήματα επαφής αφορούν πλοία μεταξύ 20.000 και 30.000 DWT με ποσοστό 5,19%. Είναι λοιπόν εμφανές ότι τα μικρού μεγέθους δεξαμενόπλοια χημικών προϊόντων είναι πιο επιρρεπή σε ατυχήματα επαφής από ότι τα μεγαλύτερα, εφόσον το 65% των ατυχημάτων αυτών αφορούν σκάφη μέχρι 20.000 DWT.



Σχήμα 16: Κατανομή ατυχημάτων Contact συναρτήσει της ζώνης ατυχήματος

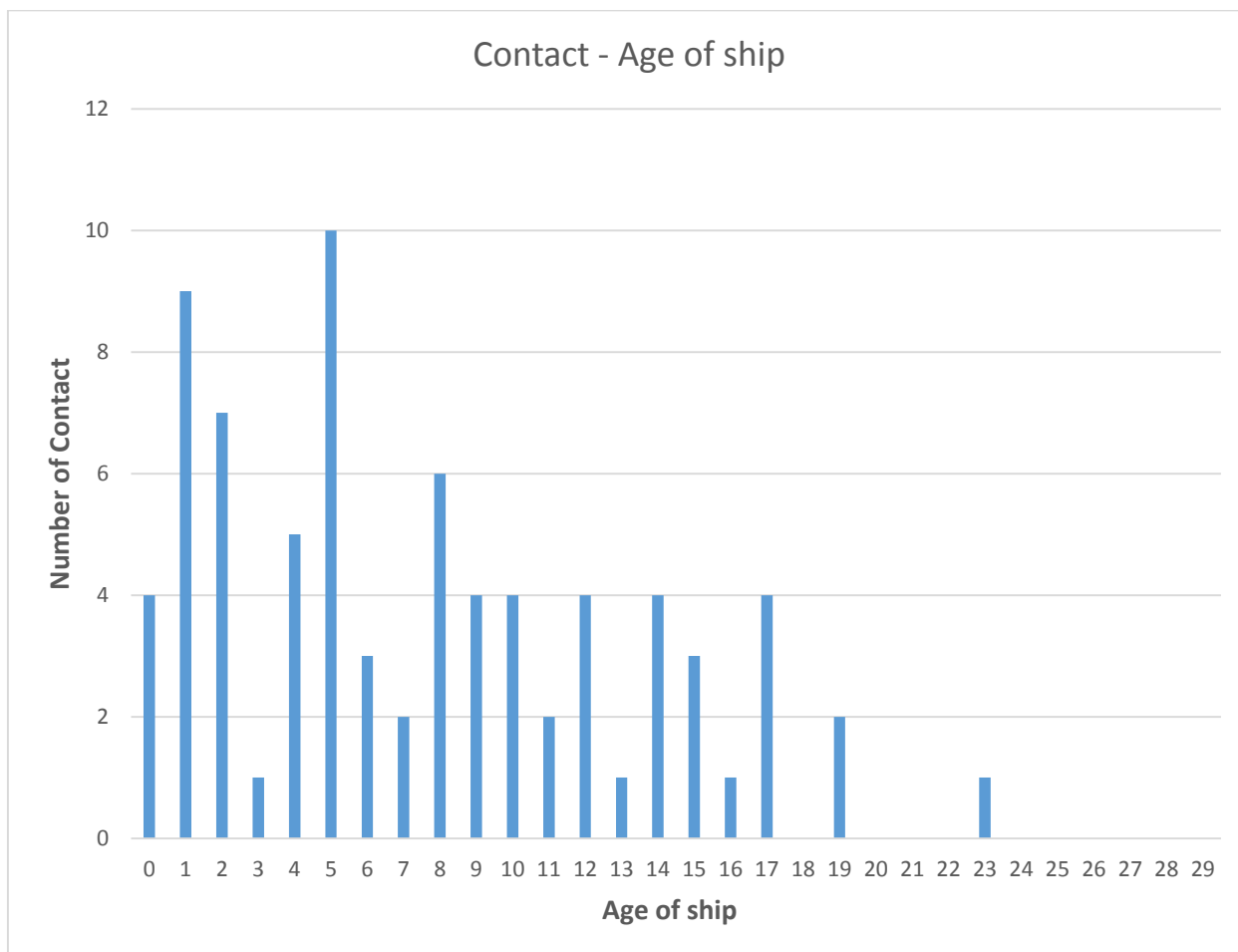
Στο Σχήμα 16 εμφανίζεται η κατανομή των Contact ατυχημάτων συναρτήσει της ζώνης ατυχήματος. Η μοναδική περιοχή που εμφανίζει υψηλές τιμές ύπαρξης ατυχημάτων επαφής είναι η “Br. Isles N. Sea E. Chnl Biscay” με συνολικά 24 ατυχήματα (31,17%). Η αμέσως επόμενη σε ποσοστό περιοχή είναι η “Great Lakes” (11,69%), ενώ όλες οι υπόλοιπες γεωγραφικές ζώνες που δεν έχουν μηδενικό αριθμό ατυχημάτων εμφανίζουν ποσοστά μέχρι 9%.





Σχήμα 17: Κατανομή ατυχημάτων Contact συναρτήσει της σημαίας

Στο Σχήμα 17 εμφανίζεται η κατανομή των ατυχημάτων Contact συναρτήσει της σημαίας. Τα πλοία με τις ακόλουθες σημαίες ενεπλάκησαν στα περισσότερα ατυχήματα επαφής: Λιβερία (13,24%), Μάλτα (11,76%), Νήσοι Μάρσαλ (11,76%) και Παναμάς (10,29%). Ακολουθούν οι σημαίες της Σιγκαπούρης και της Νορβηγίας, αμφότερες με ποσοστό 7,35%. Επομένως, με εξαίρεση τη σημαία του Παναμά που κατέχει την πρώτη θέση στη συνολική κατανομή των ατυχημάτων, δεν εμφανίζονται μεγάλες αποκλίσεις σε σχέση με τη συνολική κατανομή για τις υπόλοιπες σημαίες.

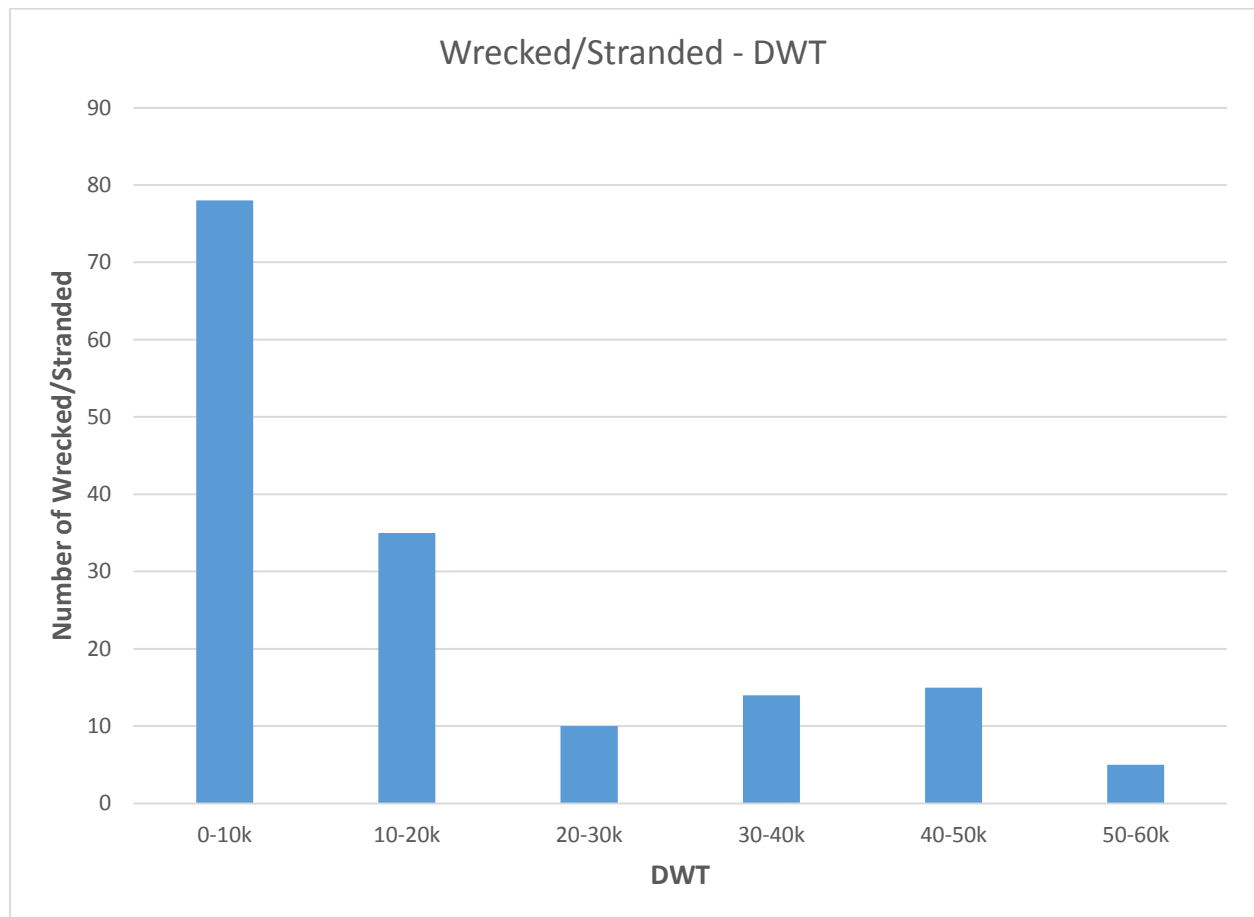


Σχήμα 18: Κατανομή ατυχημάτων Contact συναρτήσει της ηλικίας του πλοίου

Στο Σχήμα 18 φαίνεται η κατανομή των ατυχημάτων Contact συναρτήσει της ηλικίας που είχε το πλοίο όταν συνέβη το ατύχημα. Η υψηλότερη τιμή ατυχημάτων εμφανίζεται κατά τον 5<sup>ο</sup> χρόνο λειτουργίας. Παρατηρείται ότι τα 47 από τα 77 ατυχήματα, δηλαδή το 61,04%, έχουν συμβεί μέχρι το 8<sup>ο</sup> ηλικιακό έτος των πλοίων, ενώ μετά το 19<sup>ο</sup> ηλικιακό έτος έχει συμβεί μόλις 1 ατύχημα. Επομένως, η γήρανση του πλοίου δείχνει να μην αυξάνει την ύπαρξη ατυχημάτων επαφής.

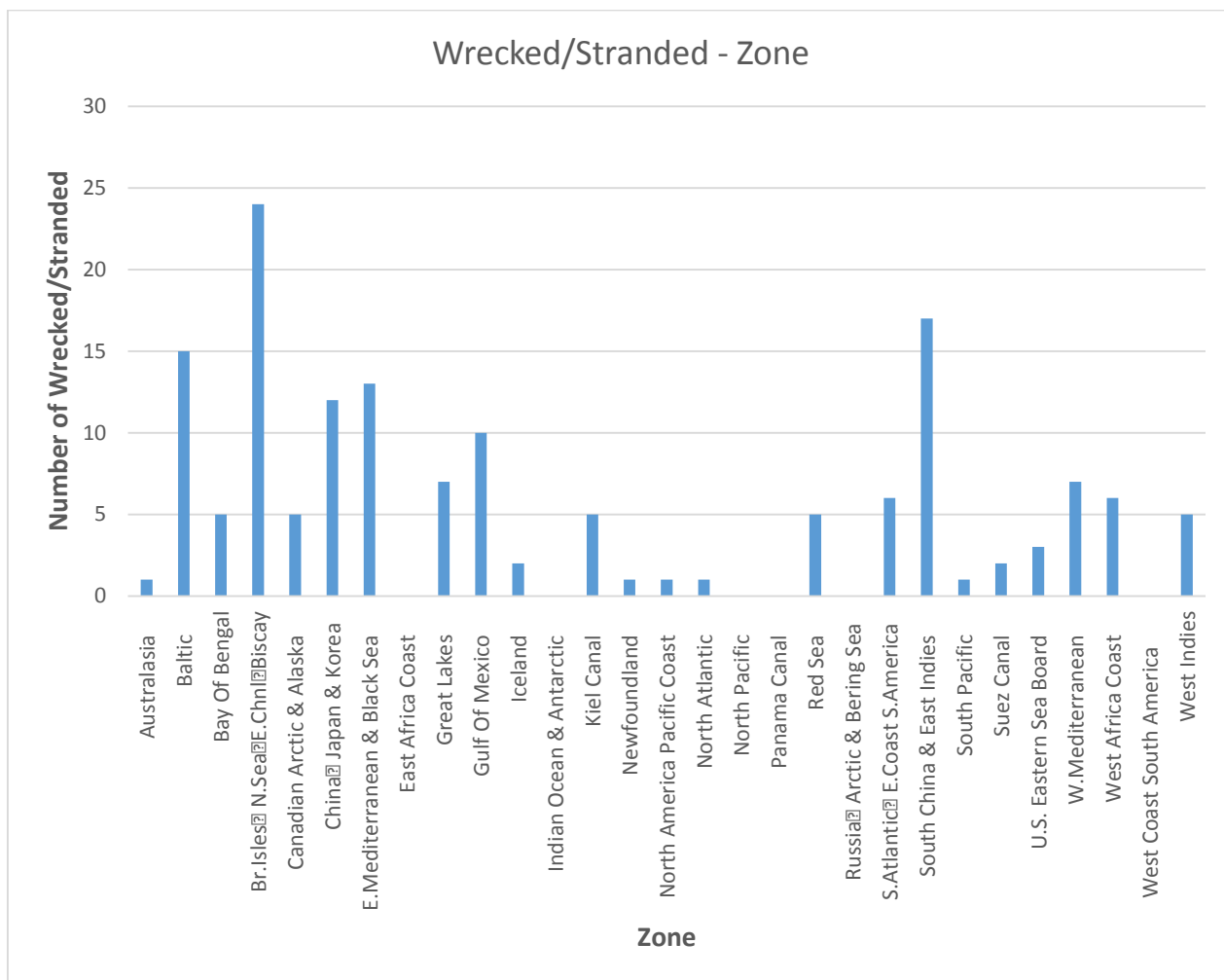
### **4.1.3. Wrecked/Stranded**

Στην κατηγορία της προσάραξης (Wrecked/Stranded) συμπεριλαμβάνονται ατυχήματα στα οποία υπάρχει προσάραξη του πλοίου, πρόσκρουση του πλοίου με τον πυθμένα της θάλασσας (ύφαλοι) και πρόσκρουση του πλοίου με ναυάγια πλοίων[32].



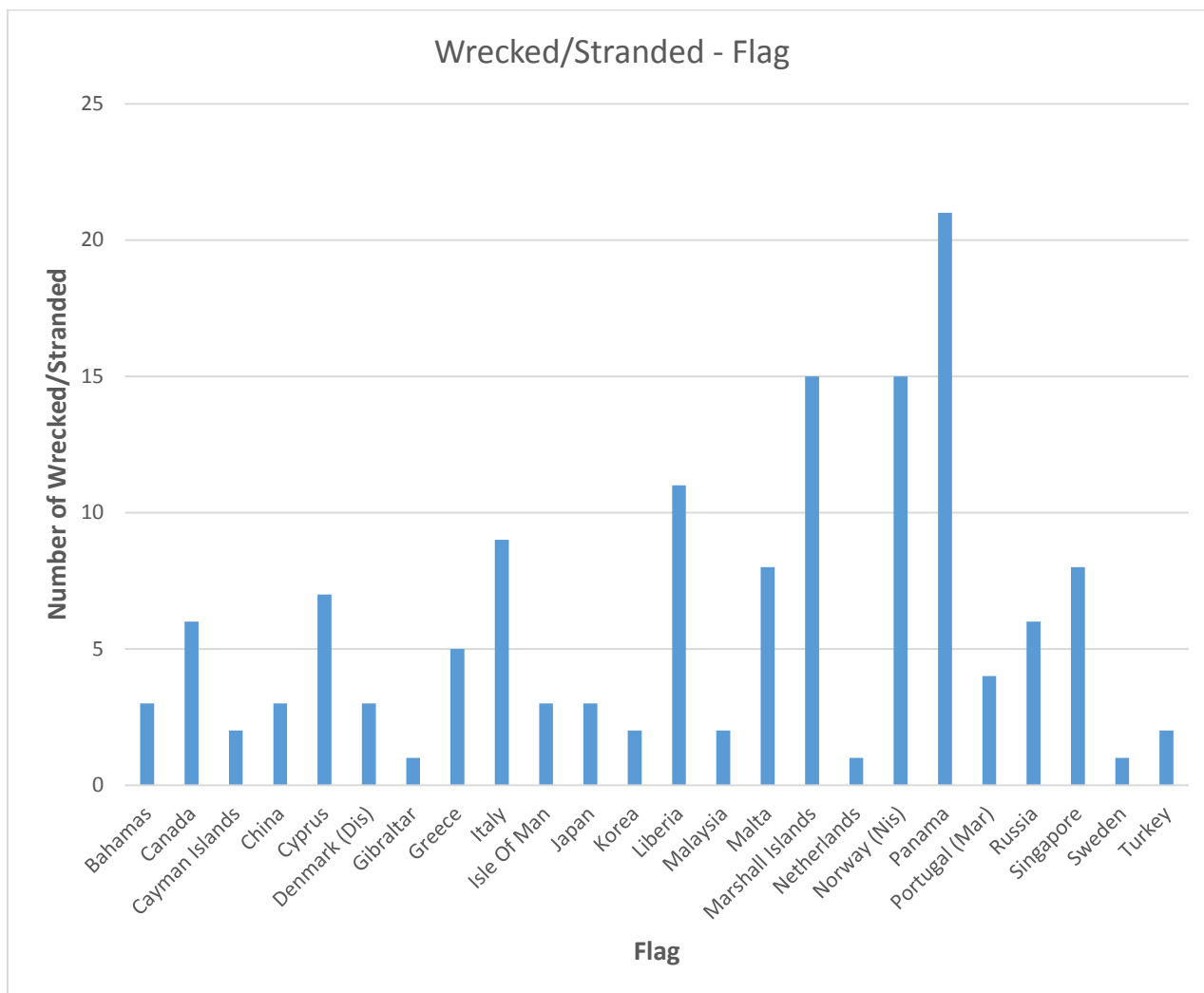
Σχήμα 19: Κατανομή ατυχημάτων Wrecked/Stranded συναρτήσει του DWT

Στο Σχήμα 19 παρουσιάζεται η κατανομή των Wrecked/Stranded ατυχημάτων συναρτήσει του DWT. Φαίνεται ότι τα πλοία της ομάδας 0-10.000 DWT εμφανίζουν σχεδόν τα μισά ατυχήματα προσάραξης με ποσοστό 49,68% και ακολουθεί η ομάδα 10.000-20.000 DWT με 22,29%. Οι υπόλοιπες ομάδες βαρών μεμονωμένα δε φτάνουν ούτε το 10%, με τα μεγάλα δεξαμενόπλοια από 50.000 μέχρι 60.000 DWT να έχουν το μικρότερο ποσοστό (3,18%). Προφανώς, το ποσοστό των ατυχημάτων Wrecked/Stranded που καταλογίζεται σε μικρά δεξαμενόπλοια μέχρι 10.000 DWT είναι τεράστιο σε σχέση με τα υπόλοιπα.



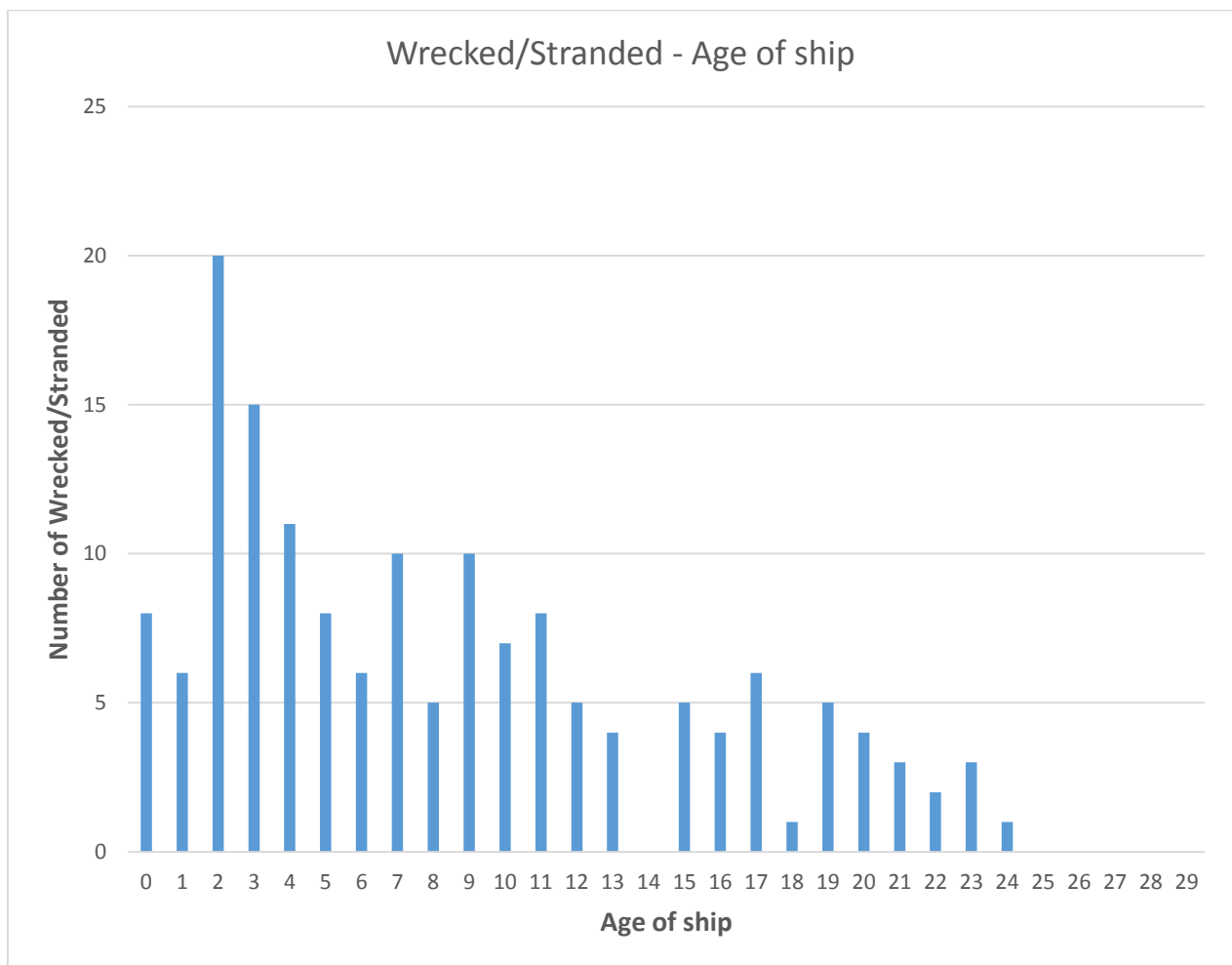
Σχήμα 20: Κατανομή ατυχημάτων Wrecked/Stranded συναρτήσει της ζώνης ατυχήματος

Στο Σχήμα 20 εμφανίζεται η κατανομή των Wrecked/Stranded ατυχημάτων συναρτήσει της ζώνης ατυχήματος. Τα περισσότερα ατυχήματα έχουν συμβεί στις ακόλουθες περιοχές: “Br. Isles N. Sea E.Chnl Biscay” (15,58%), “South China & East Indies” (11,04%) και “Baltic” (9,74%). Η κατανομή των ατυχημάτων προσάραξης δεν ακολουθεί απόλυτα τη συνολική κατανομή των ατυχημάτων για τις προαναφερθείσες περιοχές. Η “Br. Isles N. Sea E.Chnl Biscay” αποτελεί τη γεωγραφική ζώνη και με τα περισσότερα Wrecked/Stranded και με τα περισσότερα συνολικά ατυχήματα, ωστόσο η “South China & East Indies” βρίσκεται στην τρίτη συγκεντρωτικά θέση και η “Baltic” αρκετά χαμηλότερα, ενώ η δεύτερη επί των συνολικών ατυχημάτων “China Japan & Korea” είναι στην πέμπτη θέση στα ατυχήματα προσάραξης.



Σχήμα 21: Κατανομή ατυχημάτων Wrecked/Stranded συναρτήσει της σημαίας

Στο Σχήμα 21 εμφανίζεται η κατανομή των Wrecked/Stranded ατυχημάτων συναρτήσει της σημαίας. Σημαντικός αριθμός ατυχημάτων Wrecked/Stranded συνέβη σε πλοία με σημαίες: Παναμάς (14,89%), Νήσοι Μάρσαλ (10,64%), Νορβηγία (10,64%), Λιβερία (7,80%). Επομένως, εξαιρουμένης της σημαίας της Νορβηγίας, δεν εμφανίζονται μεγάλες αποκλίσεις σε σχέση με τη συνολική κατανομή, εφόσον τα αντίστοιχα ποσοστά επί του συνόλου των ατυχημάτων είναι 13,77%, 8,06%, 6,16% και 7,28%.

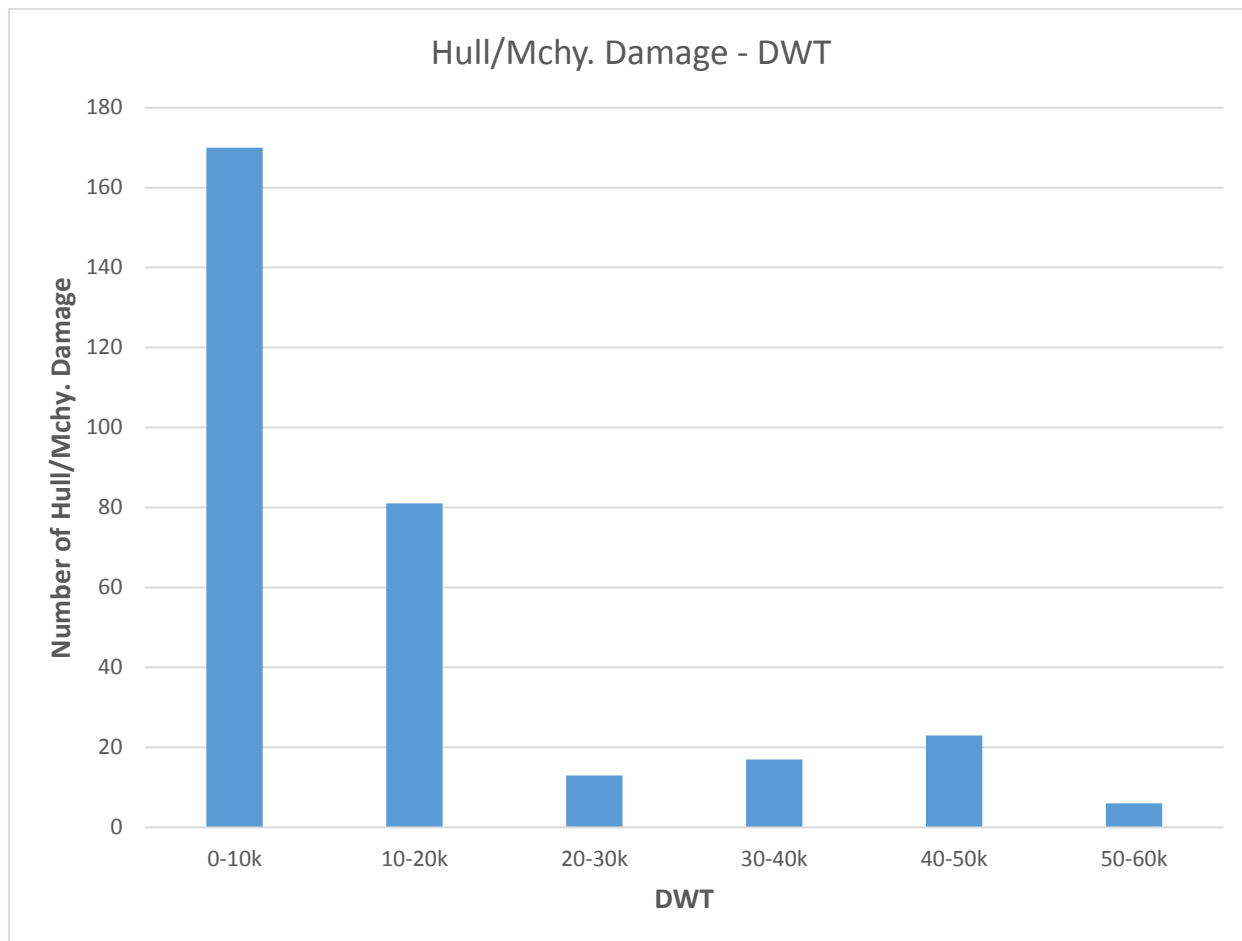


Σχήμα 22: Κατανομή ατυχημάτων Wrecked/Stranded συναρτήσει της ηλικίας του πλοίου

Στο Σχήμα 22 φαίνεται η κατανομή των ατυχημάτων Wrecked/Stranded συναρτήσει της ηλικίας που είχε το πλοίο όταν συνέβη το ατύχημα. Η υψηλότερη τιμή ατυχημάτων εμφανίζεται κατά τον 2<sup>ο</sup> χρόνο λειτουργίας. Παρατηρείται ότι το 78,34% των ατυχημάτων έχουν συμβεί μέχρι το 13<sup>ο</sup> ηλικιακό έτος των πλοίων, ενώ μετά το 18<sup>ο</sup> ηλικιακό έτος έχουν συμβεί λίγα ατυχήματα προσάραξης και συγκεκριμένα περίπου το 12,10%. Η κύρια συγκέντρωση ατυχημάτων εμφανίζεται ξεκάθαρα στην πρώτη δεκαετία λειτουργίας του πλοίου. Η γήρανση του πλοίου δείχνει να μην αυξάνει την ύπαρξη ατυχημάτων προσάραξης.

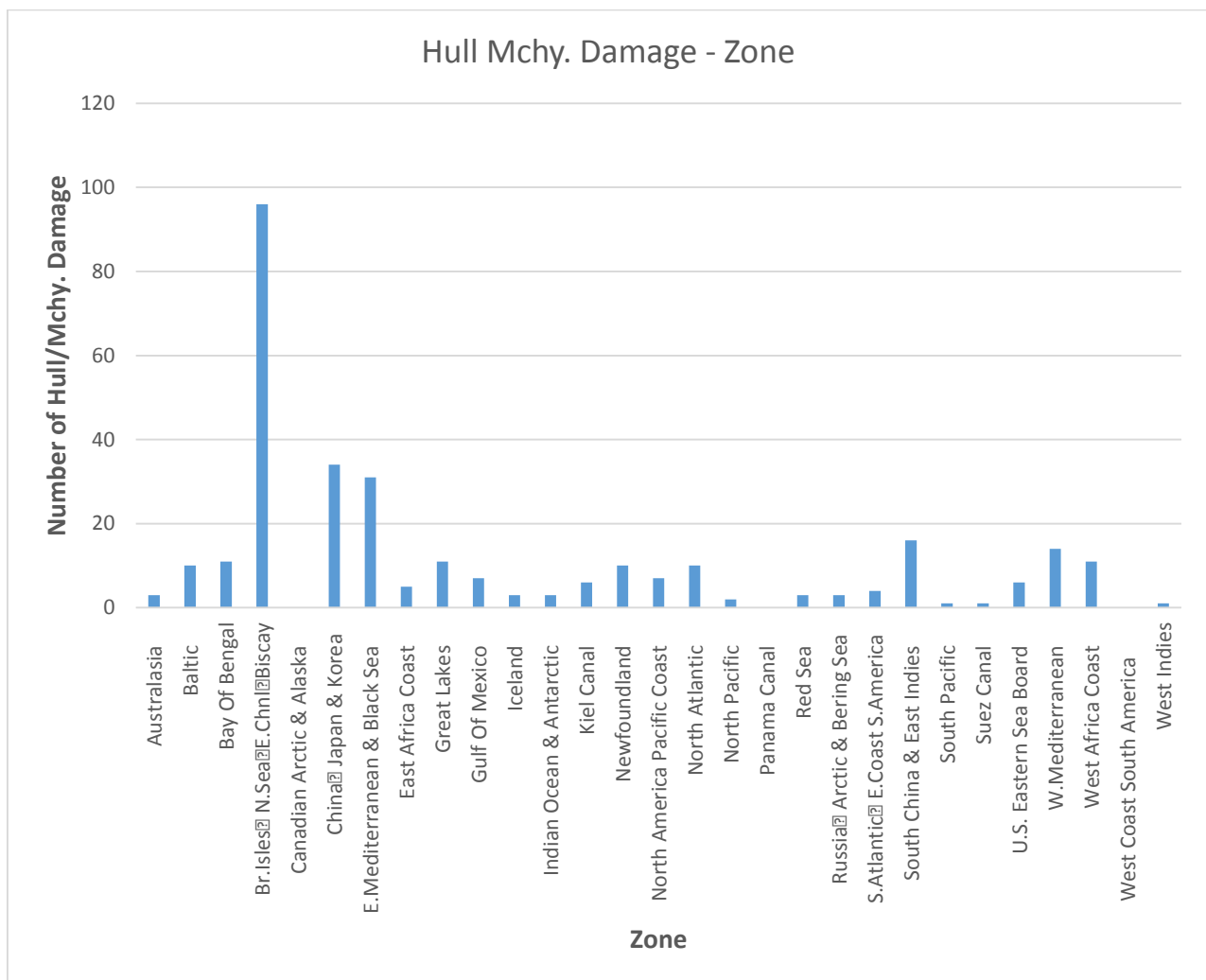
#### **4.1.4. Hull/Mchy. Damage**

Στην κατηγορία βλάβης γάστρας ή μηχανολογικής εγκατάστασης (Hull/Mchy. Damage) συμπεριλαμβάνονται ατυχήματα στα οποία υπήρξε βλάβη στην γάστρα ή και την μηχανολογική εγκατάσταση του πλοίου. Εξαιρούνται ατυχήματα στα οποία η εν λόγω βλάβη προέκυψε λόγω σύγκρουσης, προσάραξης ή οποιασδήποτε άλλης κατηγορίας ατυχήματος[32].



Σχήμα 23: Κατανομή ατυχημάτων Hull/Mchy.Damage συναρτήσει του DWT

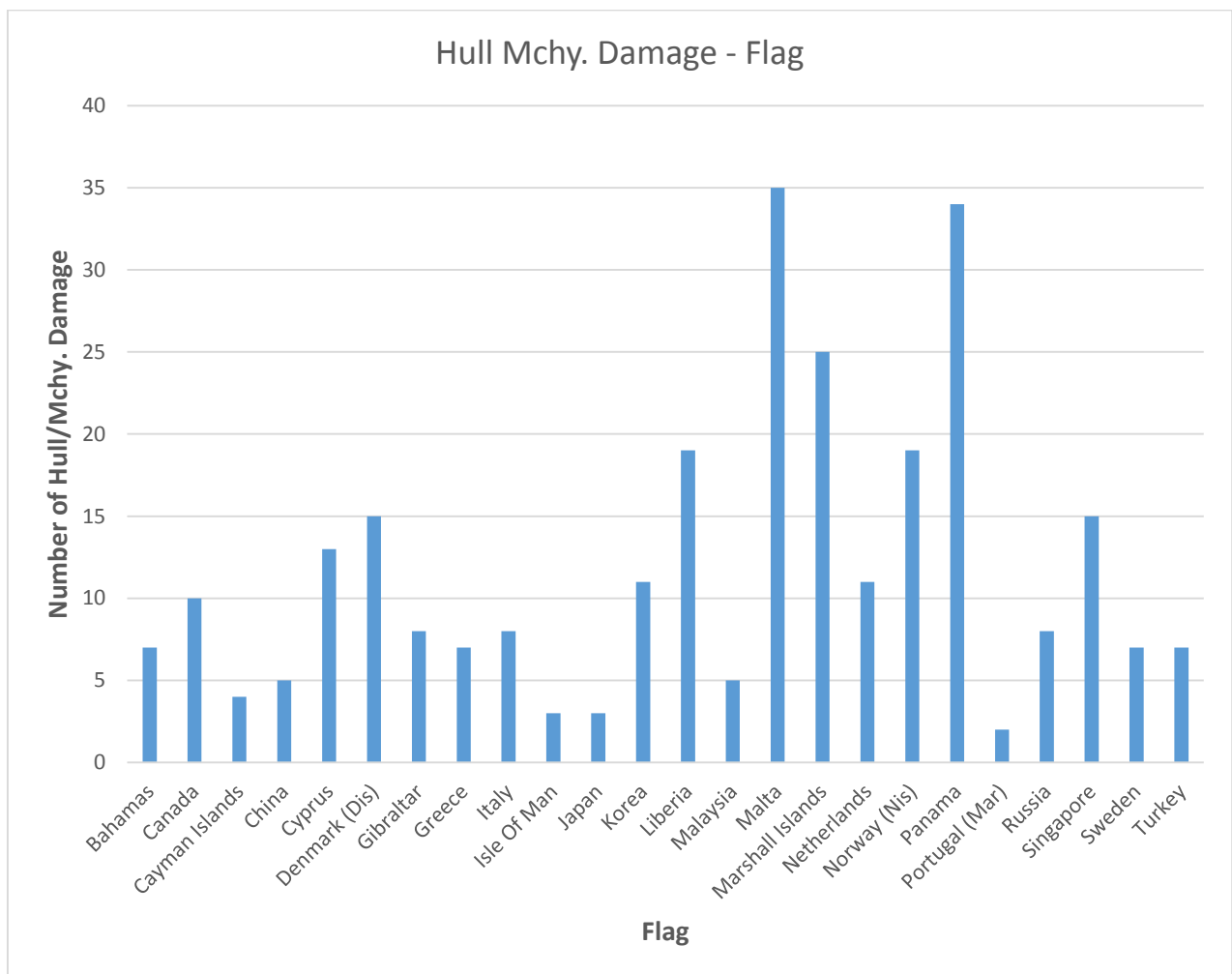
Στο Σχήμα 23 παρουσιάζεται η κατανομή των Hull & Machinery Damage ατυχημάτων συναρτήσει του DWT. Φαίνεται ότι τα πλοία της ομάδας 0-10.000 DWT εμφανίζουν τα περισσότερα ατυχήματα σύγκρουσης με ποσοστό 54,84% και ακολουθεί η ομάδα 10.000-20.000 DWT με 26,13%. Οι ομάδες βαρών 30.000-40.000 και 40.000-50.000 εμφανίζουν 5,48% και 7,42% αντίστοιχα, η ομάδα 20.000-30.000 4,19%, ενώ τα λιγότερα ατυχήματα Hull & Machinery Damage αφορούν πλοία μεταξύ 50.000 και 60.000 DWT με ποσοστό μόλις 1,94%. Προφανώς, το ποσοστό των ατυχημάτων που καταλογίζεται σε μικρά δεξαμενόπλοια μέχρι 10.000 DWT είναι τεράστιο σε σχέση με τα υπόλοιπα.



Σχήμα 24: Κατανομή ατυχημάτων Hull/Mchy. Damage συναρτήσει της ζώνης ατυχήματος

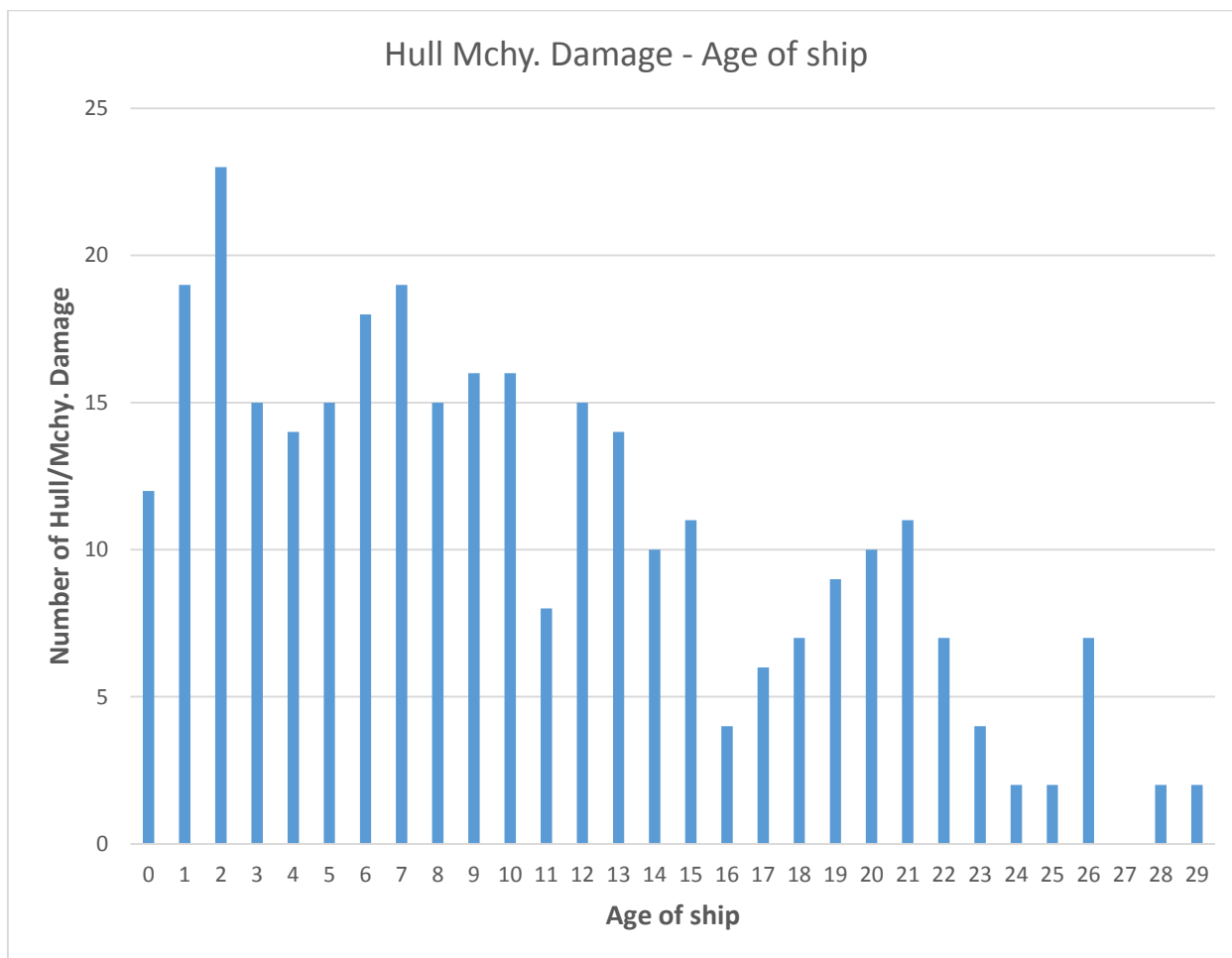
Στο Σχήμα 24 εμφανίζεται η κατανομή των Hull & Machinery Damage ατυχημάτων συναρτήσει της ζώνης ατυχήματος. Η μοναδική περιοχή που εμφανίζει υψηλές τιμές ύπαρξης ατυχημάτων επαφής είναι η “Br. Isles N. Sea E. Chnl Biscay” με συνολικά 96 ατυχήματα (31,07%). Η αμέσως επόμενη σε ποσοστό περιοχή είναι η “China Japan & Korea” (11,00%) και ακολουθεί η “E. Mediterranean & Black Sea” (10,03%), ενώ όλες οι υπόλοιπες γεωγραφικές ζώνες που δεν έχουν μηδενικό αριθμό ατυχημάτων εμφανίζουν ποσοστά μέχρι 5%.





Σχήμα 25: Κατανομή ατυχημάτων Hull/Mch. Damage συναρτήσει της σημαίας

Στο Σχήμα 25 εμφανίζεται η κατανομή των Hull & Machinery Damage ατυχημάτων συναρτήσει της σημαίας. Σημαντικός αριθμός τέτοιων ατυχημάτων συνέβη σε πλοία με σημαίες: Μάλτα (12,46%), Παναμάς (12,10%) και Νήσοι Μάρσαλ (8,90%). Όλες οι υπόλοιπες σημαίες εμφανίζουν ποσοστά ατυχημάτων βλαβής γάστρας ή μηχανολογικής εγκατάστασης κάτω του 7%.

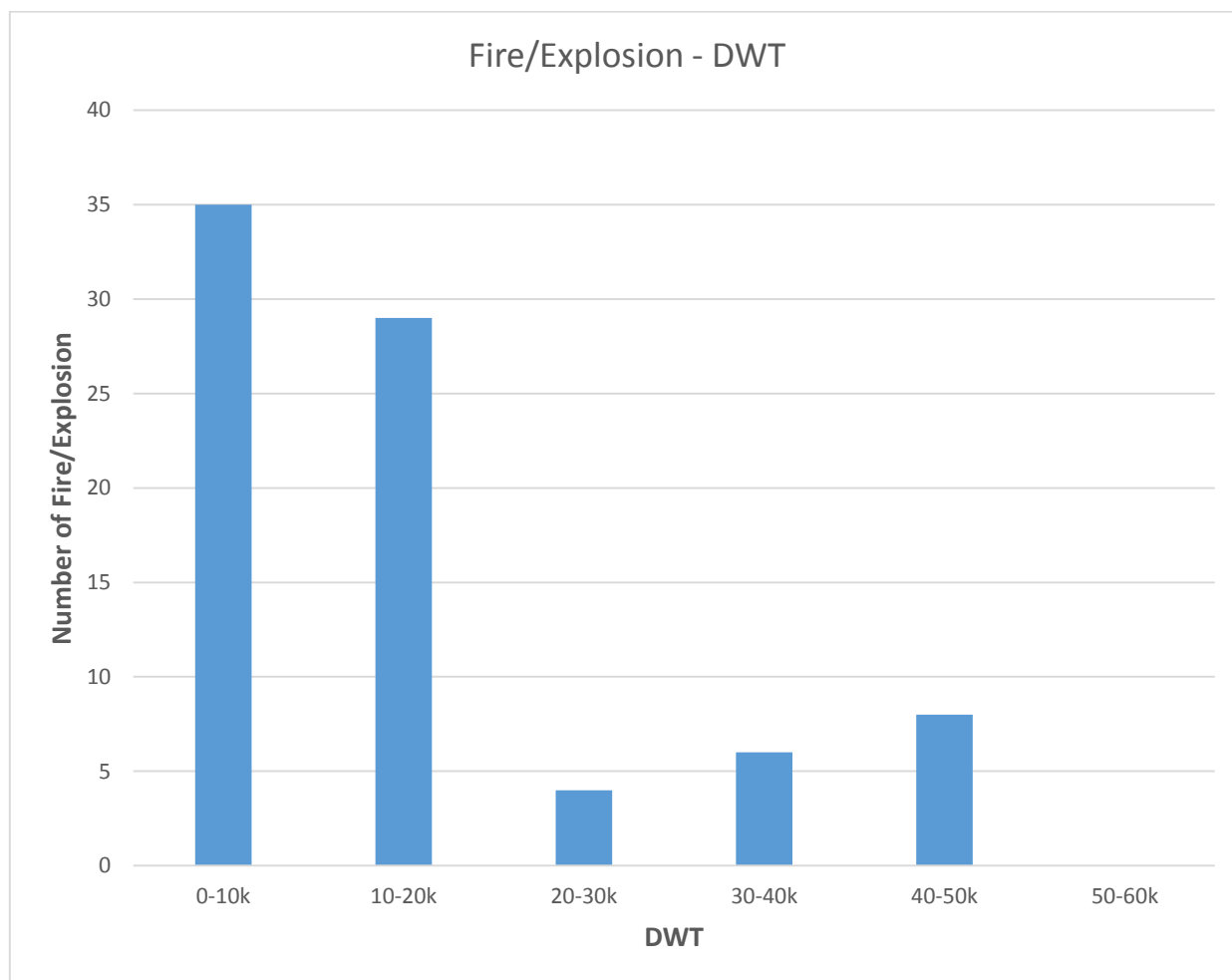


Σχήμα 26: Κατανομή ατυχημάτων Hull/Mchy.Damage συναρτήσει της ηλικίας του πλοίου

Στο Σχήμα 26 φαίνεται η κατανομή των ατυχημάτων Hull & Machinery Damage συναρτήσει της ηλικίας που είχε το πλοίο όταν συνέβη το ατύχημα. Η υψηλότερη τιμή ατυχημάτων εμφανίζεται κατά τον 2<sup>ο</sup> χρόνο λειτουργίας. Παρατηρείται ότι το 76,68% των ατυχημάτων έχουν συμβεί μέχρι το 15<sup>ο</sup> ηλικιακό έτος των πλοίων. Σε αντίθεση με την ανάλυση των προηγούμενων τριών τύπων ατυχημάτων, υπάρχει μια αξιόλογη συγκέντρωση ατυχημάτων Hull & Machinery Damage σε πλοία ηλικίας μεταξύ 16 και 26 ετών. Γενικά, δε μπορεί να βγει ασφαλές συμπέρασμα για το αν η γήρανση του πλοίου επηρεάζει την ύπαρξη ατυχημάτων λόγω βλαβών.

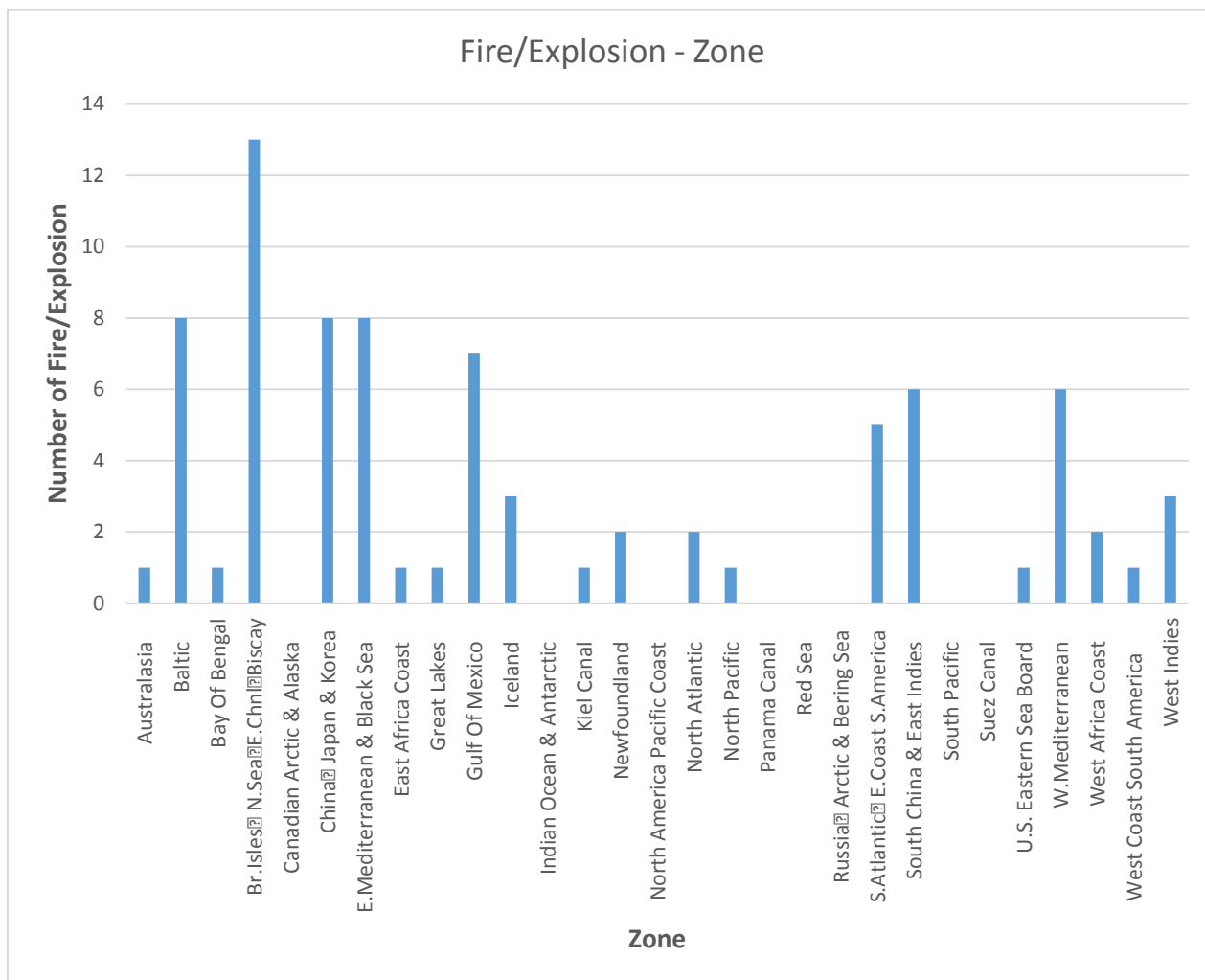
#### **4.1.5. Fire/Explosion**

Στην κατηγορία έκρηξης ή πυρκαγιάς(fire/explosion) συμπεριλαμβάνονται ατυχήματα στα οποία υπήρξε πυρκαγιά ή έκρηξη λόγω μηχανολογικής βλάβης ή ατυχήματα στα οποία η πυρκαγιά / έκρηξη ήταν το πρώτο συμβάν που αναφέρθηκε. Ατυχήματα στα οποία η πυρκαγιά ή η έκρηξη οφείλεται σε σύγκρουση, προσάραξη κλπ. δεν συμπεριλαμβάνονται σε αυτήν την κατηγορία[32].



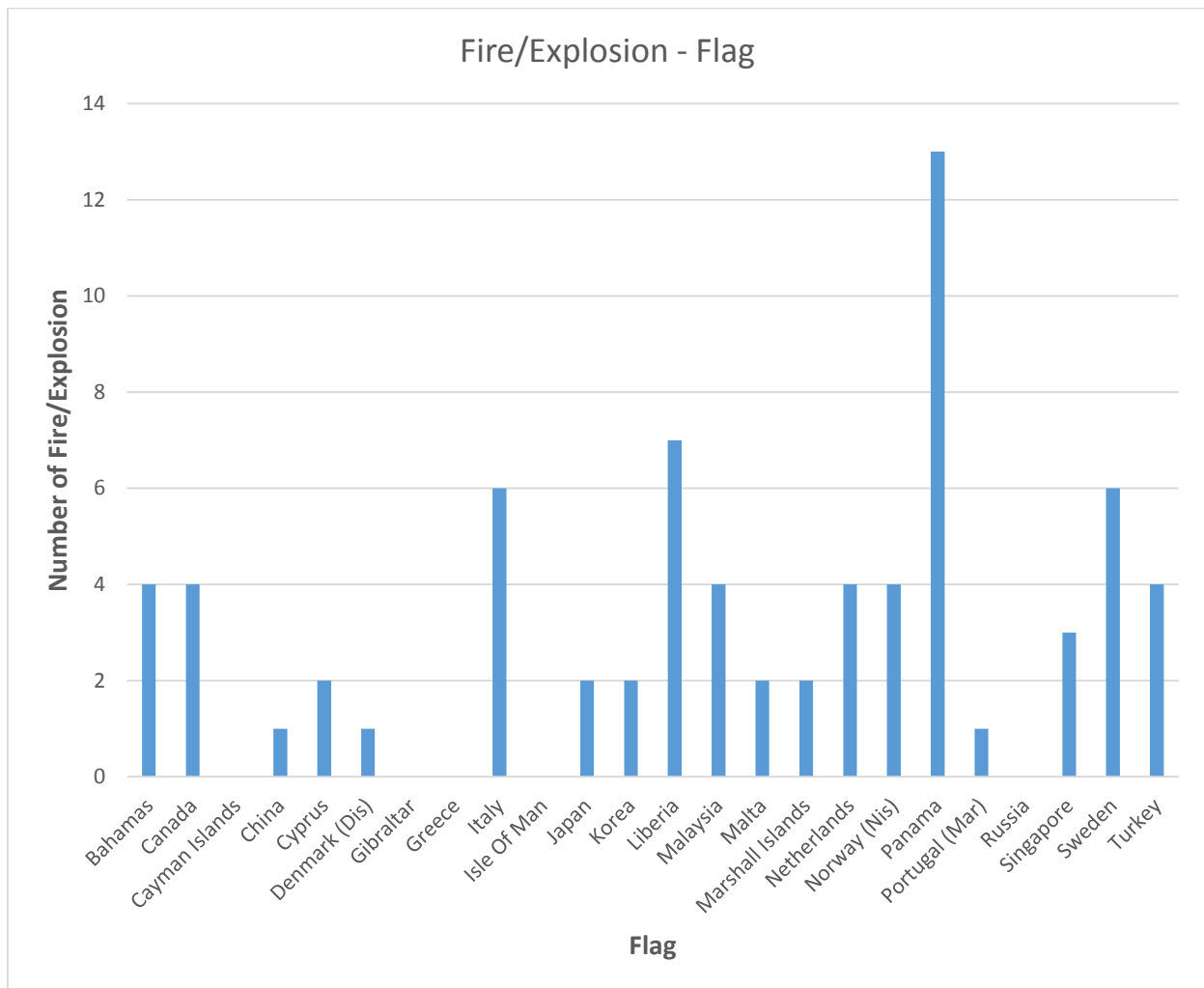
Σχήμα 27: Κατανομή ατυχημάτων Fire/Explosion συναρτήσει του DWT

Στο Σχήμα 27 παρουσιάζεται η κατανομή των Fire/Explosion ατυχημάτων συναρτήσει του DWT. Φαίνεται ότι τα πλοία της ομάδας 0-10.000 DWT εμφανίζουν τα περισσότερα ατυχήματα σύγκρουσης με ποσοστό 42,68% και ακολουθεί η ομάδα 10.000-20.000 DWT με 35,37%. Οι ομάδες βαρών 30.000-40.000 και 40.000-50.000 εμφανίζουν 7,32% και 9,76% αντίστοιχα, ενώ τα λιγότερα ατυχήματα σύγκρουσης αφορούν πλοία μεταξύ 20.000 και 30.000 DWT με ποσοστό 4,88%. Δεν υπάρχει ούτε ένα καταγεγραμμένο ατύχημα για πλοία μεταξύ 50.000 και 60.000 DWT. Είναι αξιοσημείωτο ότι, όπως και σε κάθε άλλον τύπο ατυχήματος, η συντριπτική πλειοψηφία αποδίδεται σε σκάφη μέχρι 20.000 DWT.



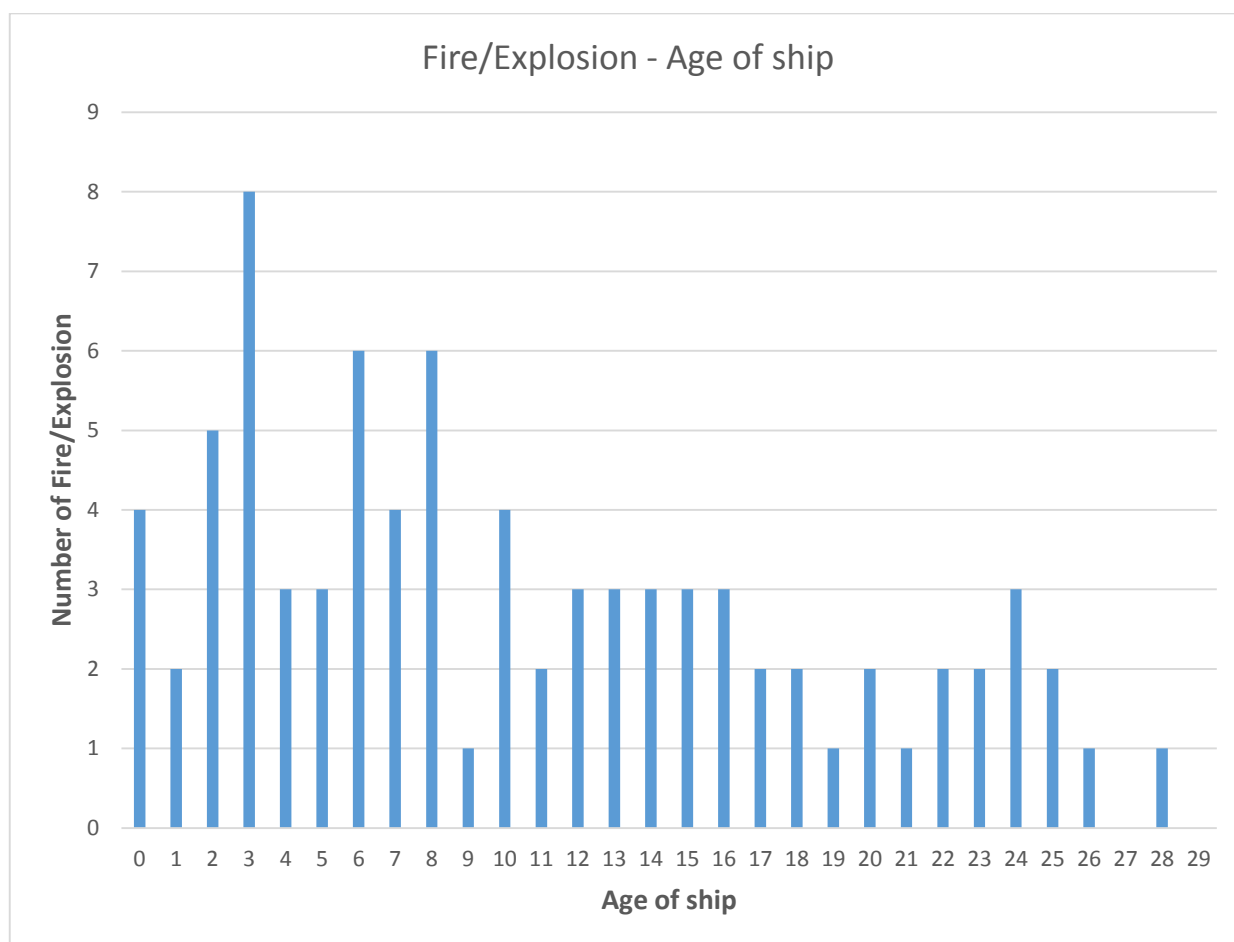
Σχήμα 28: Κατανομή ατυχημάτων Fire/Explosion συναρτήσει της ζώνης ατυχήματος

Στο Σχήμα 28 εμφανίζεται η κατανομή των Fire/Explosion ατυχημάτων συναρτήσει της ζώνης ατυχήματος. Τα περισσότερα ατυχήματα έχουν συμβεί στη ζώνη “Br. Isles N. Sea E. Chnl Biscay” (16,05%), ενώ ακολουθούν ακριβώς με το ίδιο ποσοστό (9,88%) οι περιοχές “Baltic”, “E. Mediterranean & Black Sea” και “China Japan & Korea”. Άξια αναφοράς είναι και τα ποσοστά των “Gulf Of Mexico” (8,64%), “South China & East Indies” (7,41%) και “W. Mediterranean” (7,41%).



Σχήμα 29: Κατανομή ατυχημάτων Fire/Explosion συναρτήσει της σημαίας

Στο Σχήμα 29 εμφανίζεται η κατανομή των Fire/Explosion ατυχημάτων συναρτήσει της σημαίας. Τα περισσότερα ατυχήματα και για αυτόν τον τύπο ατυχήματος έχουν αποδοθεί σε πλοία που έφεραν τη σημαία του Παναμά (18,06%) και ακολουθεί η σημαία της Λιβερίας (9,72%). Άξια αναφοράς αποτελούν τα ποσοστά για τις σημαίες της Ιταλίας (8,33%) και της Σουηδίας (8,33%), οι οποίες παρατηρήθηκαν να έχουν επαρκή συνεισφορά για πρώτη φορά κατά την παρούσα ανάλυση των ατυχημάτων πυρκαγιάς ή έκρηξης.



Σχήμα 30: Κατανομή ατυχημάτων Fire/Explosion συναρτήσει της ηλικίας του πλοίου

Στο Σχήμα 30 φαίνεται η κατανομή των ατυχημάτων Fire/Explosion συναρτήσει της ηλικίας που είχε το πλοίο όταν συνέβη το ατύχημα. Η υψηλότερη τιμή ατυχημάτων εμφανίζεται κατά τον 3<sup>ο</sup> χρόνο λειτουργίας. Παρατηρείται ότι το 58,54% των ατυχημάτων έχουν συμβεί μέχρι το 11<sup>ο</sup> ηλικιακό έτος των πλοίων. Από το 11<sup>ο</sup> μέχρι το 25<sup>ο</sup> ηλικιακό έτος παρατηρείται μια αξιόλογη και σχετικά σταθερή συγκέντρωση τιμών. Ωστόσο, δε μπορεί να εξαχθεί ασφαλές συμπέρασμα για το αν η γήρανση του πλοίου επηρεάζει την ύπαρξη ατυχημάτων λόγω έκρηξης ή πυρκαγιάς.

## **Κεφάλαιο 4.2. Συχνότητες ατυχημάτων**

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν οι συχνότητες ανά έτος των ατυχημάτων, τόσο συνολικά όσο και για κάθε έναν από τους 5 τύπους ατυχήματος ξεχωριστά. Η παρουσίαση θα γίνει μέσω της χρήσης των πινάκων και των διαγραμμάτων που δημιουργήθηκαν. Τα ατυχήματα κατηγοριοποιήθηκαν βάσει 2 παραμέτρων: α)την ηλικία του πλοίου όταν συνέβη το ατύχημα, β)το DWT. Για την κατασκευή των διαγραμμάτων, αρχικά προσδιορίστηκε η τιμή της εκάστοτε εξεταζόμενης ομάδας ατυχημάτων για κάθε έτος και στη συνέχεια καθεμία από αυτές τις τιμές διαιρέθηκε με την τιμή που είχε το Fleet at Risk το έτος αυτό. Όπως ειπώθηκε και παραπάνω, η τιμή του Fleet at risk για κάθε έτος πραγματοποίησης ατυχημάτων εξήχθη από τη βάση δεδομένων της Clarksons. Η μελέτη αφορά τις χρονολογίες από το 1997 μέχρι το 2013, καθώς μέχρι τότε είναι διαθέσιμη η τιμή του Fleet at risk από τη βάση δεδομένων για τα δεξαμενόπλοια χημικών προϊόντων.

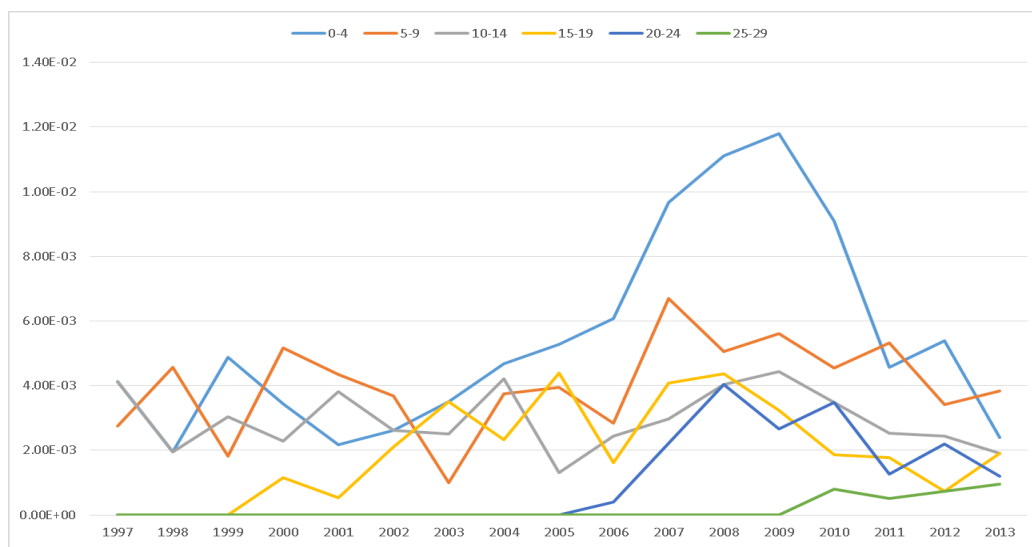
Στον Πίνακα 9, φαίνονται για κάθε έτος οι τιμές του Fleet at risk, των συνολικών ατυχημάτων και κάθε κατηγορίας ατυχήματος ξεχωριστά.

*Πίνακας 9: Τιμές Fleet at risk και αριθμός ατυχημάτων ανά έτος*

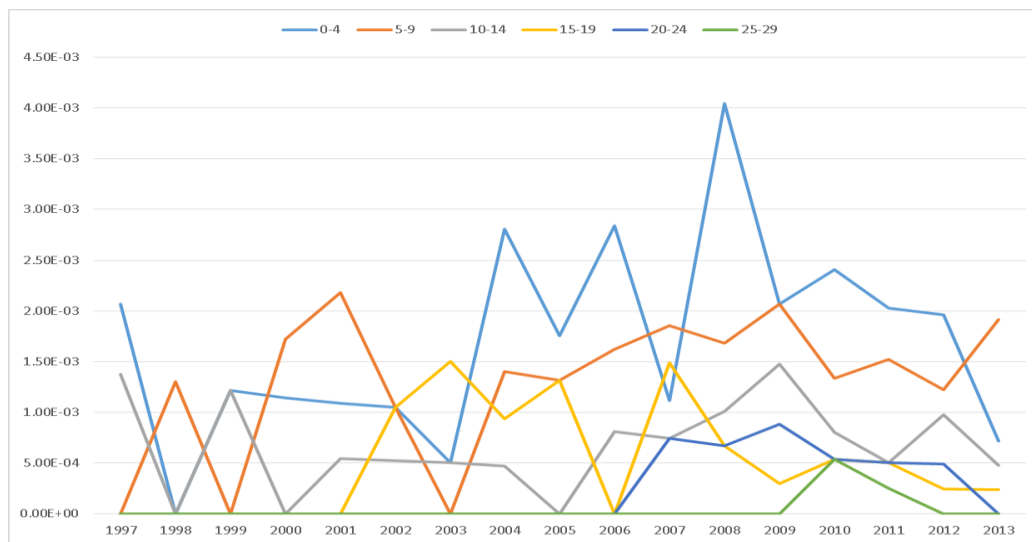
Year of casualty	FAR	Collision	Contact	Wrecked/ Stranded	Hull/Mchy. Damage	Fire/Explosion	Total
1997	1452	5	1	3	5	2	16
1998	1534	2	2	0	8	1	13
1999	1643	4	3	3	5	0	15
2000	1745	5	3	4	6	1	19
2001	1837	7	1	4	7	1	20
2002	1902	7	1	7	4	2	21
2003	1995	5	2	5	6	3	21
2004	2137	12	3	4	6	7	32
2005	2278	10	2	7	12	2	33
2006	2465	13	2	4	10	4	33
2007	2692	16	7	14	28	3	68
2008	2969	24	9	18	28	5	84
2009	3388	23	8	22	31	9	93
2010	3741	23	3	21	34	5	86
2011	3943	21	5	7	23	6	62
2012	4085	20	3	9	19	9	60
2013	4173	14	6	4	21	6	51
SUM	-	211	61	136	253	66	727

#### **4.2.1. Συχνότητες ατυχημάτων συναρτήσει των ηλικιών των πλοίων**

Τα ατυχήματα των οποίων οι τιμές θα διαιρεθούν με το εκάστοτε Fleet at risk επιλέχθηκε να ομαδοποιηθούν σε 5ετίες ηλικιακών ετών των πλοίων. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται οι εξής ηλικιακές κλάσεις: 0-4 ετών, 5-9 ετών, 10-14 ετών, 15-19 ετών, 20-24 ετών, 25-29 ετών. Στα Σχήματα 31, 32, 33, 34, 35, 36 παρουσιάζονται σε μορφή διαγραμμάτων οι συχνότητες των ατυχημάτων ανά έτος συναρτήσει της ηλικίας για τα Total Accidents, Collision, Contact, Wrecked/Stranded, Hull/Mchy. Damage, Fire/Explosion κατ' αντιστοιχία.

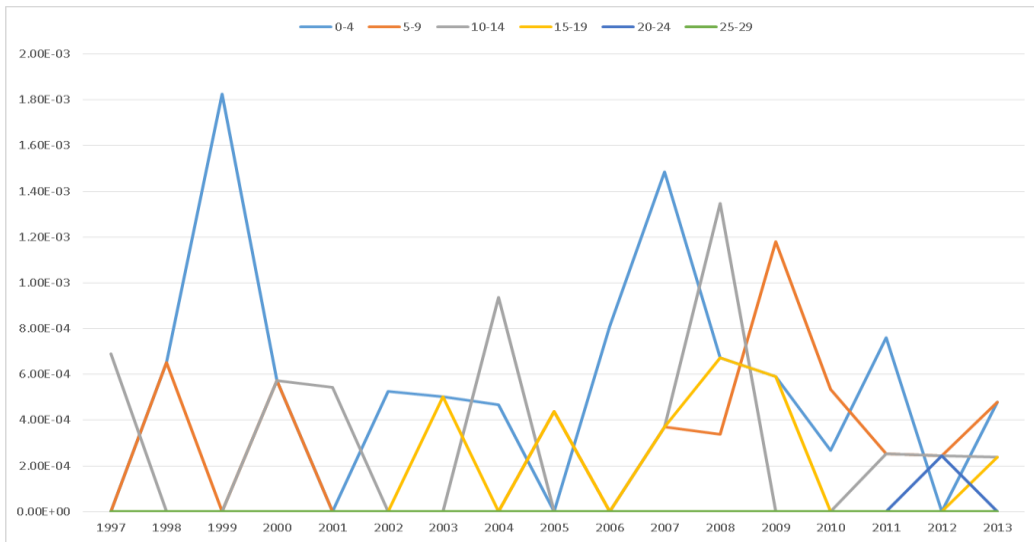


Σχήμα 31: Συχνότητες Total Accidents ανά έτος συναρτήσει της ηλικίας

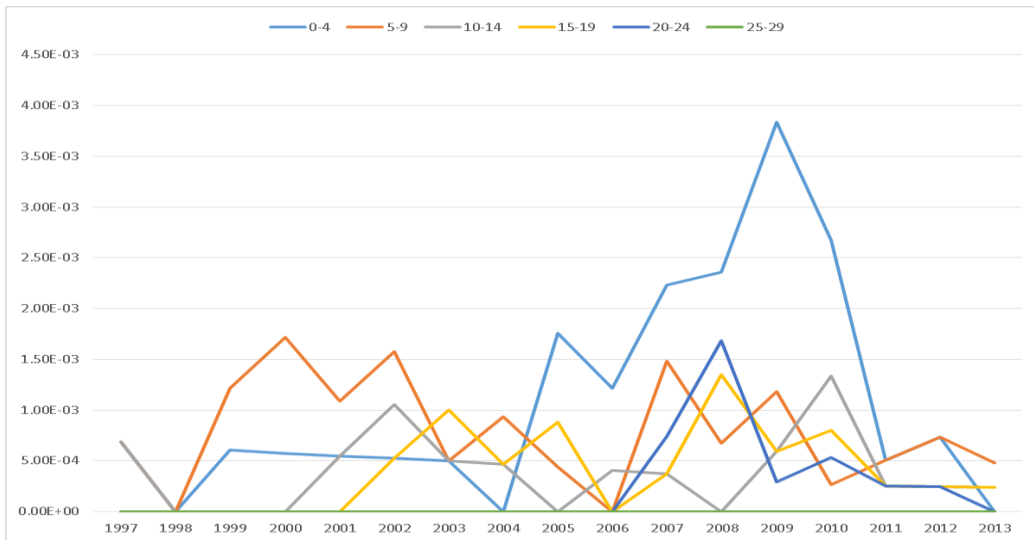


Σχήμα 32: Συχνότητες Collision ανά έτος συναρτήσει της ηλικίας

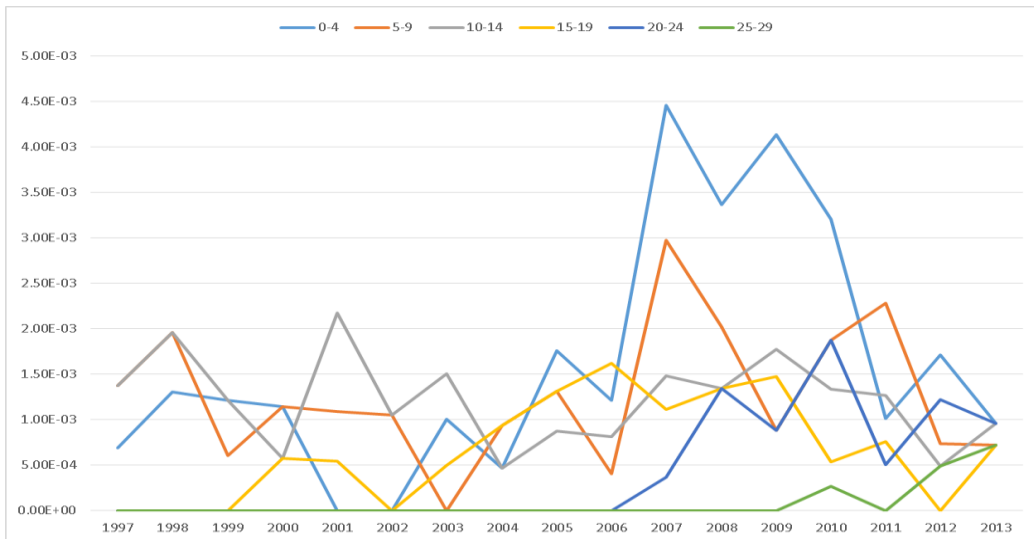




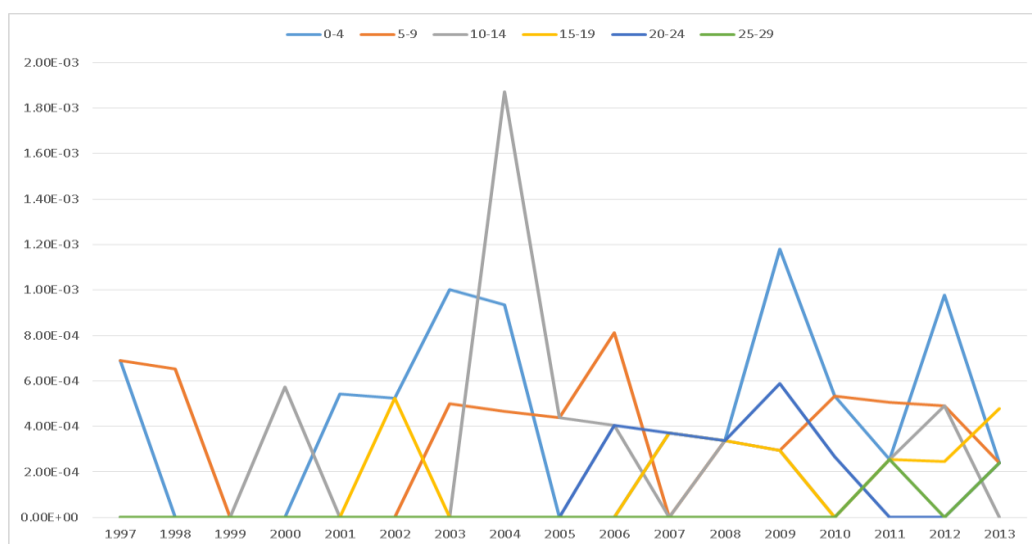
Σχήμα 33: Συχνότητες Contact ανά έτος συναρτήσει της ηλικίας



Σχήμα 34: Συχνότητες Wrecked/Stranded ανά έτος συναρτήσει της ηλικίας



Σχήμα 35: Συχνότητες Hull/Mchy.Damage ανά έτος συναρτήσει της ηλικίας



Σχήμα 36: Συχνότητες Fire/Explosion ανά έτος συναρτήσει της ηλικίας

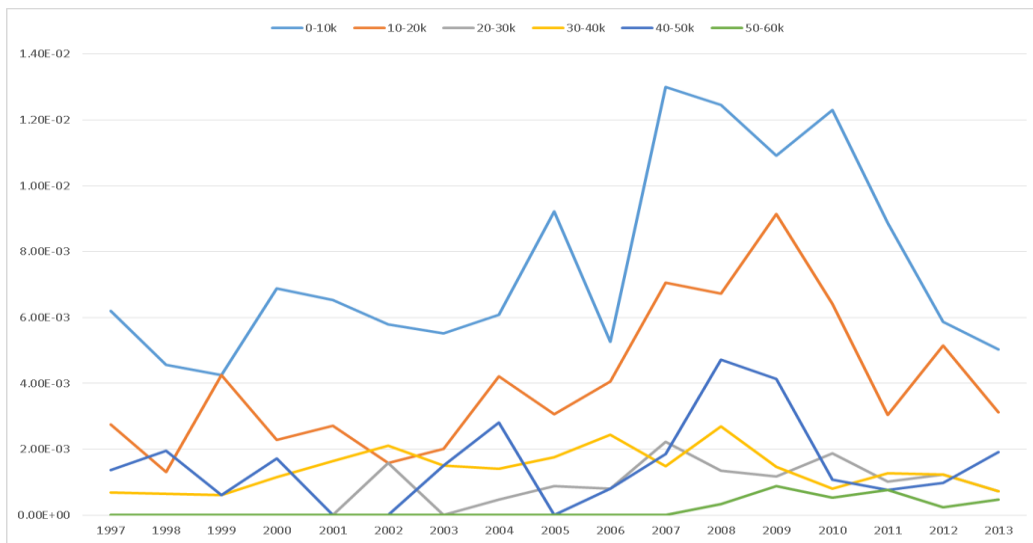
Είναι αξιοσημείωτο, ότι με εξαίρεση τα ατυχήματα έκρηξης ή πυρκαγιάς, οι μέγιστες τιμές συχνότητας εμφανίζονται στα πλοία ηλικίας 0-4 ετών και δευτερευόντως στα πλοία ηλικίας 5-9 ετών. Στην περίπτωση των Fire/Explosion, τα πλοία ηλικίας 10-14 παρουσιάζουν την μακράν υψηλότερη τιμή και συγκεκριμένα το έτος 2004, ενώ στη μοναδική αυτή περίπτωση η κατηγορία 0-4 παρουσιάζει τη δεύτερη υψηλότερη τιμή. Τα πλοία ηλικίας 25-29 παρουσιάζουν μηδενική συχνότητα μέχρι το έτος 2009, τόσο συγκεντρωτικά, όσο και μεμονωμένα για κάθε τύπο ατυχήματος και από το 2009 και μετά εμφανίζουν κάποιες μικρές τιμές συχνοτήτων που αφορούν ατυχήματα βλάβης στη μηχανολογική εγκατάσταση και ατυχήματα έκρηξης ή πυρκαγιάς.

Γενικά, παρατηρώντας το διάγραμμα συχνοτήτων των συνολικών ατυχημάτων, φαίνεται ότι τα πιο επιρρεπή σε ατυχήματα είναι τα πλοία ηλικίας από 0-4 ετών. Ακολουθούν τα σκάφη ηλικίας 5-9 ετών, και κατά φθίνουσα σειρά οι κατηγορίες 10-14, 15-19, 20-24, 25-29. Αυτό γίνεται αντιληπτό από τα εμβαδά που σχηματίζουν οι καμπύλες των ηλικιακών αυτών ομάδων με τον οριζόντιο άξονα. Ναι μεν, υπάρχουν διάφορες αυξομειώσεις των μεγίστων τιμών και κατ'επέκταση των ηλικιακών ομάδων που αυτές εκφράζουν, κυρίως μέχρι το 2004, ωστόσο τα συνολικά εμβαδά φθίνουν όσο αυξάνεται η ηλικιακή ομάδα. Εφόσον το εμβαδό της κάθε καμπύλης περικλείει ουσιαστικά το άθροισμα των συχνοτήτων εμφάνισης ατυχήματος μέσα σε όλο χρονικό διάστημα μελέτης, μεγαλύτερο εμβαδόν συνεπάγεται μεγαλύτερη συνολική πιθανότητα πραγματοποίησης ατυχήματος.

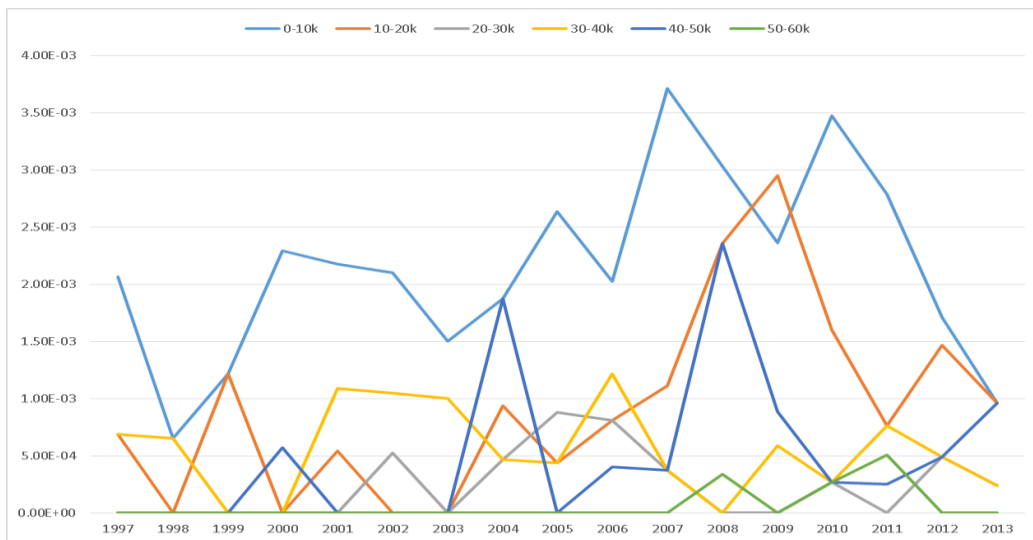
Θα ήταν λογικό να ειπωθεί ότι η πτώση που παρατηρείται στα ατυχήματα όσο αυξάνεται η διάρκεια λειτουργίας των πλοίων οφείλεται στο γεγονός ότι η πλειονότητα του στόλου παροπλίζεται πριν φτάσει σε τέτοιες ηλικίες.

#### **4.2.2. Συχνότητες ατυχημάτων συναρτήσεσι του DWT των πλοίων**

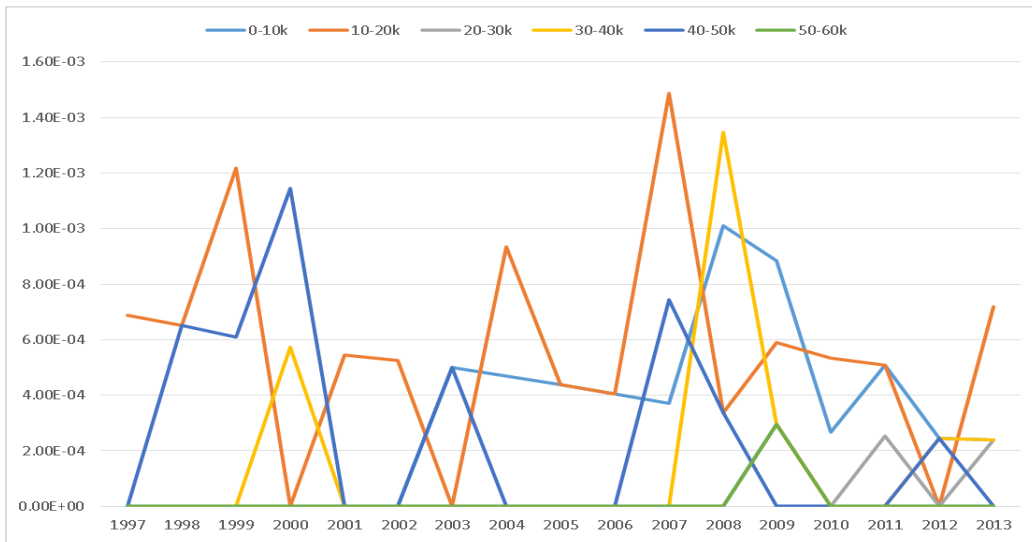
Τα ατυχήματα των οποίων οι τιμές θα διαιρεθούν με το εκάστοτε Fleet at risk επιλέχθηκε να ομαδοποιηθούν σε 6 κλάσεις βαρών των πλοίων ανάλογα με το DWT. Πιο συγκεκριμένα: 0-10.000 DWT, 10.000-20.000 DWT, 20.000-30.000 DWT, 30.000-40.000 DWT, 40.000-50.000 DWT, 50.000-60.000 DWT. Στα Σχήματα 37, 38, 39, 40, 41, 42 παρουσιάζονται σε μορφή διαγραμμάτων οι συχνότητες των ατυχημάτων ανά έτος συναρτήσεσι του DWT για τα Total Accidents, Collision, Contact, Wrecked/Stranded, Hull/Mch. Damage, Fire/Explosion κατ'αντιστοιχία.



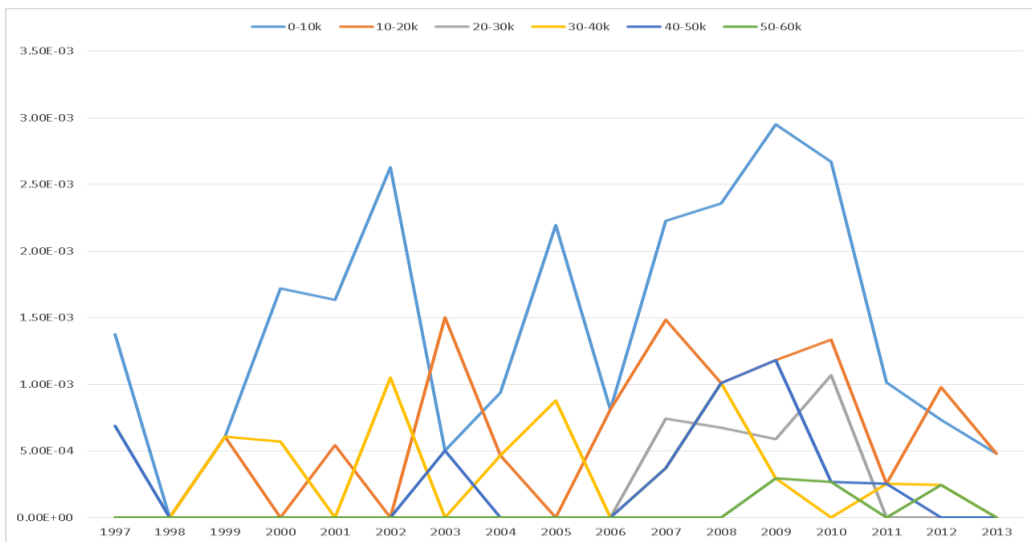
Σχήμα 37: Συχνότητες Total Accidents ανά έτος συναρτήσεσι του DWT



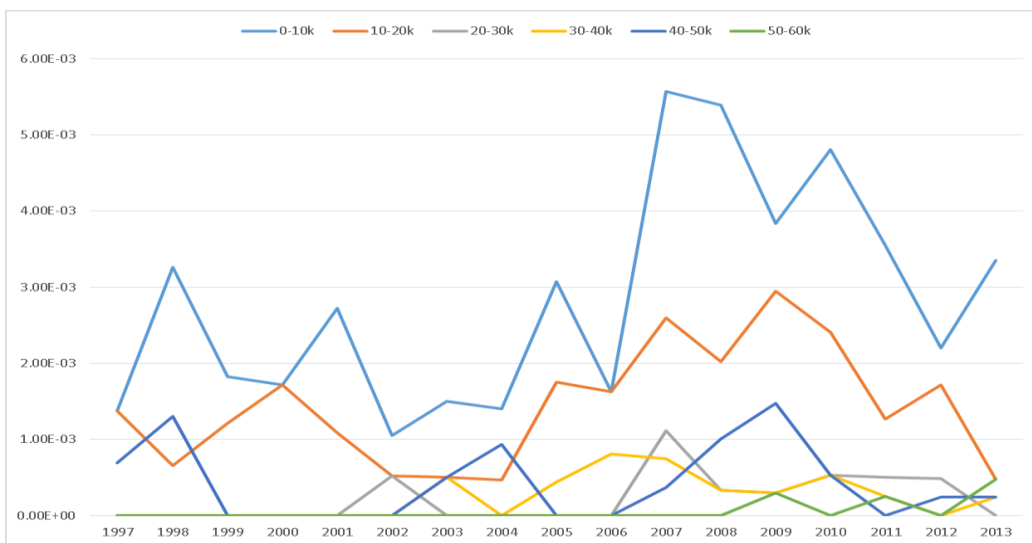
Σχήμα 38: Συχνότητες Collision ανά έτος συναρτήσεσι του DWT



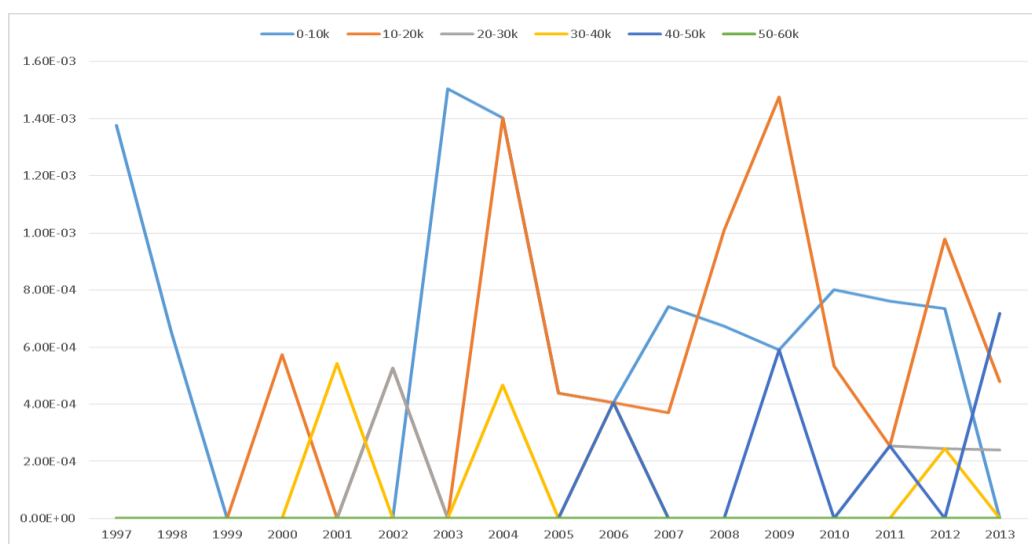
Σχήμα 39: Συχνότητες Contact ανά έτος συναρτήσει του DWT



Σχήμα 40: Συχνότητες Wrecked/Stranded ανά έτος συναρτήσει του DWT



Σχήμα 41: Συχνότητες Hull/Mchy.Damage ανά έτος συναρτήσει του DWT



Σχήμα 42: Συχνότητες Fire/Explosion ανά έτος συναρτήσεως του DWT

Παρατηρείται ότι, πλην της περίπτωσης των ατυχημάτων επαφής, τα tanker από 0 μέχρι 10.000 DWT εμφανίζουν τις μέγιστες τιμές σε κάθε ένα από τα παραπάνω διαγράμματα συχνότητων. Στη δεύτερη θέση ακολουθούν για κάθε τύπο ατυχήματος τα πλοία 10.000-20.000 DWT, εκτός από την περίπτωση επαφής όπου εμφανίζουν την υψηλότερη συχνότητα κατά το έτος 2007, αφήνοντας την κατηγορία 0-10.000 δεύτερη. Άξιο σχολιασμού είναι ότι τα μεγαλύτερα εξεταζόμενα πλοία μεταξύ 50.000 και 60.000 DWT εμφανίζουν μηδενικές τιμές συχνότητων μέχρι και το έτος 2007.

Από το διάγραμμα συχνότητων των συνολικών ατυχημάτων, φαίνεται ότι τα πιο επιρρεπή σε ατυχήματα είναι τα πλοία 0-10.000 DWT και κατόπιν τα πλοία 10.000-20.000 DWT. Ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά οι κατηγορίες 40.000-50.000, 30.000-40.000, 20.000-30.000 και 50.000-60.000. Αυτό γίνεται αντιληπτό όπως και προηγουμένως από τα εμβαδά που σχηματίζουν οι καμπύλες των μεγεθών με τον οριζόντιο άξονα. Εφόσον το εμβαδό της κάθε καμπύλης περικλείει ουσιαστικά το άθροισμα των συχνότητων εμφάνισης ατυχήματος μέσα σε όλο χρονικό διάστημα μελέτης, μεγαλύτερο εμβαδόν συνεπάγεται μεγαλύτερη συνολική πιθανότητα πραγματοποίησης ατυχήματος.

Αξιολογώντας λοιπόν τα διαγράμματα συχνότητων που παρατέθηκαν, είναι εμφανές ότι τα μικρά δεξαμενόπλοια από 0 μέχρι 20.000 DWT εμφανίζουν μεγαλύτερο αριθμό ατυχημάτων και μονοπωλούν τις υψηλότερες συχνότητες για οποιονδήποτε τύπο ατυχήματος σε σχέση με τα μεγαλύτερα δεξαμενόπλοια.

### 4.2.3. Σύγκριση αποτελεσμάτων με παρόμοιες έρευνες

Κατά τη βιβλιογραφική έρευνα δεν εντοπίστηκε κάποια μελέτη συγκεκριμένα για τη συχνότητα των ατυχημάτων σε δεξαμενόπλοια μεταφοράς χημικών προϊόντων. Ωστόσο, στην FSA του 2007 για LNG tankers [33] παρατίθεται η παρακάτω Εικόνα 6, η οποία αποτελεί το μοναδικό διαθέσιμο στοιχείο που υπάρχει για συχνότητες ατυχημάτων σε chemical tankers.

Accident type	SH Oil tanker	DH Oil tanker	Oil/ Chemical tanker	Chemical tanker	LPG tanker	Bulk carrier	LNG carrier
Collision	$9.9 \times 10^{-3}$	$8.6 \times 10^{-3}$	$4.3 \times 10^{-2}$	$9.4 \times 10^{-3}$	$2.2 \times 10^{-2}$	$1.9 \times 10^{-2}$	$6.7 \times 10^{-3}$
Contact	$4.9 \times 10^{-3}$	$3.1 \times 10^{-3}$	$1.2 \times 10^{-2}$	$4.6 \times 10^{-3}$	$3.0 \times 10^{-3}$	$1.1 \times 10^{-2}$	$2.8 \times 10^{-3}$
Fire/ Explosion	$3.7 \times 10^{-3}$	$1.1 \times 10^{-3}$	$1.1 \times 10^{-2}$	$4.5 \times 10^{-3}$	$4.3 \times 10^{-3}$	$2.9 \times 10^{-3}$	$3.5 \times 10^{-3}$

Εικόνα 6: Συχνότητες από FSA [33]

Παρολαυτά, αφορά ατυχήματα που συνέβησαν από το 1964 μέχρι και το 2005, χωρίς καμία δυνατότητα διαλογής των ατυχημάτων και των χρονικών περιόδων, έτσι ώστε να γίνει ουσιαστική και αξιόπιστη σύγκριση συχνοτήτων, έστω στο διάστημα 1997 με 2005, το οποίο περιέχεται στο χρονικό διάστημα μελέτης της παρούσας εργασίας.

Βάσει της FSA, στο διάστημα 1964-2005, η συχνότητα των Collision ατυχημάτων είναι  $9,4 \times 10^{-3}$ , των Contact  $4,6 \times 10^{-3}$  και των Fire/Explosion  $4,5 \times 10^{-3}$ . Οι συχνότητες αυτές είναι εκφρασμένες ανά shipyear. Όμως, στην παρούσα διπλωματική ο υπολογισμός των συχνοτήτων έγινε ανά έτος. Παρ' όλα αυτά, μέσω του παραπάνω Πίνακα 9, όπου φαίνονται οι τιμές των ατυχημάτων ανά έτος, μπορούν να υπολογιστούν οι συχνότητες ανά shipyear. Αθροίζοντας τα ατυχήματα στο διάστημα 1997-2005 για τους 3 αυτούς τύπους ατυχημάτων και διαιρώντας το εκάστοτε άθροισμα με το αθροιστικό Fleet at Risk στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (16.523 ship\*years), προκύπτουν οι συχνότητες ανά shipyear: Η συχνότητα των Collision ατυχημάτων είναι  $3,45 \times 10^{-3}$ , των Contact  $1,09 \times 10^{-3}$  και των Fire/Explosion  $1,15 \times 10^{-3}$ .

Οι συχνότητες είναι και για τις δύο έρευνες της τάξης του  $10^{-3}$ . Στο διάστημα 1997-2005 είναι αισθητά μικρότερες σε σχέση με το διάστημα 1964-2005 και έτσι δε μπορεί να ειπωθεί με απόλυτη βεβαιότητα ότι τα δεδομένα των δύο ερευνών καταλήγουν σε κοντινά αποτελέσματα. Ωστόσο, θεωρείται λογικό τα αποτελέσματα να διαφέρουν σε αυτό το βαθμό και από το 1997 μέχρι το 2005 να έχουμε σημαντικά μικρότερες τιμές συχνοτήτων, αφού πρόκειται για πολύ μικρότερη, σε διάρκεια, χρονική περίοδο.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα κενή.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΞΟΡΥΞΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (DATA MINING)**

### **5.1. Ανακάλυψη γνώσης από βάσεις δεδομένων**

#### **5.1.1. Γενικές πληροφορίες**

Ο όρος εξόρυξη δεδομένων ή ανακάλυψη γνώσης από βάσεις δεδομένων (data mining) περιγράφει την αυτόματη ή ημιαυτόματη διαδικασία, μέσω χρήσης ηλεκτρονικού υπολογιστή, εύρεσης ανωμαλιών και συσχετίσεων από μεγάλες βάσεις δεδομένων[34]. Ο όρος εξόρυξη δεδομένων είναι μία έννοια που συνήθως παραπέμπει σε κάθε είδος φόρμας με μεγάλη ποσότητα ή επεξεργασία δεδομένων (συλλογή, εξαγωγή δεδομένων, warehouse, ανάλυση δεδομένων και στατιστικής), αλλά επίσης γενικεύεται σε κάθε είδος συστήματος υποστήριξης αποφάσεων συμπεριλαμβανομένης της τεχνητής νοημοσύνης, της μηχανικής εκμάθησης και της επιχειρηματικής νοημοσύνης.

Μέσω της εξόρυξης δεδομένων πραγματοποιείται η αυτόματη (ή ημιαυτόματη) ανάλυση μεγάλου αριθμού δεδομένων για την εξαγωγή ενδιαφέροντων προτύπων που ήταν άγνωστα μέχρι εκείνη τη στιγμή, όπως ομάδες από εγγραφές δεδομένων (συσταδοποίηση), ασυνήθιστες εγγραφές (anomaly detection) και εξαρτήσεις (κανόνες συσχετίσεων). Αυτά τα πρότυπα ύστερα μπορούν να θεωρηθούν ως μία περιγραφή των δεδομένων εισαγωγής και να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω ανάλυση. Η συλλογή και η προετοιμασία των δεδομένων, αλλά και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων δεν αποτελούν μέρος της εξόρυξης, παρ' όλα αυτά ανήκουν στην ανακάλυψη γνώσης σαν κάποια επιπρόσθετα βήματα[34].

#### **5.1.2. Διαδικασία ανακάλυψης γνώσης**

Σε ένα τυπικό πρόβλημα data mining υπάρχουν κάποια συγκεκριμένα στάδια που πρέπει να πραγματοποιηθούν[35]:

**1)** Κατανόηση του στόχου της διαδικασίας, της προϋπάρχουσας γνώσης πάνω στον προς εξέταση τομέα, καθώς και τους στόχους του τελικού χρήστη.

**2)** Απόκτηση του συνόλου των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση. Υπάρχουν διαφορετικά είδη αποθηκών δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία εξόρυξης γνώσης. Οι πολλές διαφορετικές πηγές μπορούν να συνδυαστούν, διαμορφώνοντας το σύνολο δεδομένων στο οποίο πρόκειται τελικά να εφαρμοστεί η διαδικασία εξόρυξης. Έτσι, δημιουργείται το σύνολο δεδομένων (dataset).

**3)** Προεπεξεργασία και καθαρισμός των δεδομένων. Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει βασικές διαδικασίες, όπως η διαχείριση προβληματικών ή ελλιπόντων πεδίων δεδομένων. Αυτό το στάδιο είναι πολύ σημαντικό, αφού αν τα δεδομένα δε βρίσκονται στην κατάλληλη μορφή, δε διασφαλίζεται η ποιότητα των αποτελεσμάτων.



4) Τα δεδομένα μετασχηματίζονται σε μορφές κατάλληλες για εξόρυξη. Γίνεται χρήση μεθόδων μείωσης διαστάσεων ή μετασχηματισμού, με σκοπό τη μείωση του αριθμού των υπό εξέταση μεταβλητών και την κατάλληλη αντιπροσώπευση των δεδομένων.

5) Προσδιορισμός της μεθόδου (κατηγοριοποίηση, πρόβλεψη, ομαδοποίηση, συσχέτιση).

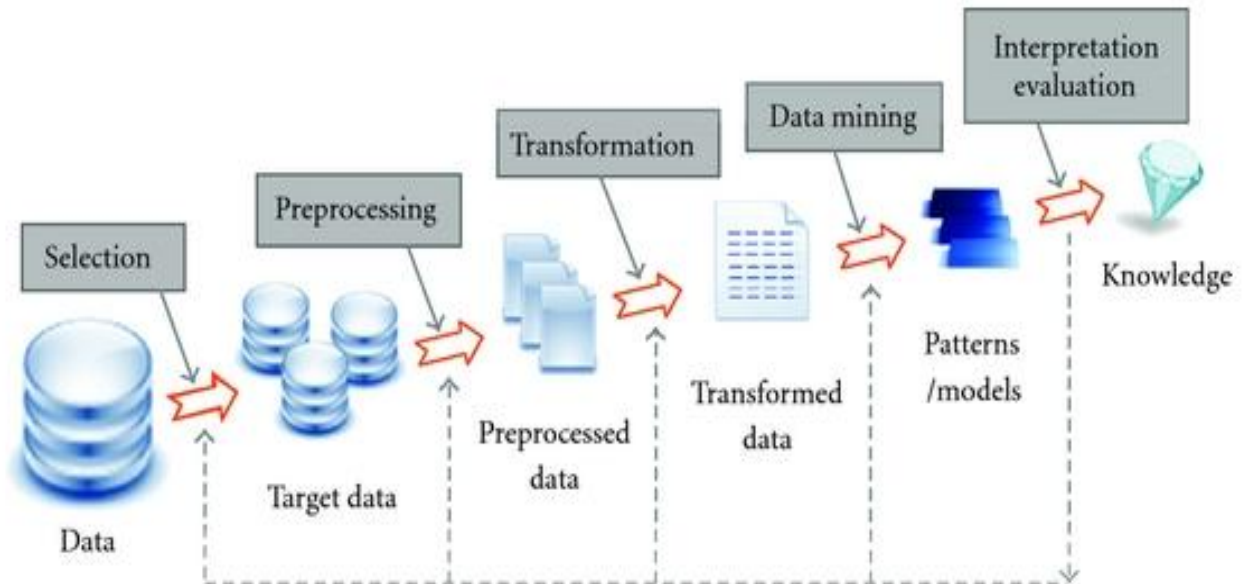
6) Επιλογή των εργαλείων του data mining που θα χρησιμοποιηθούν.

7) Χρησιμοποίηση αλγορίθμων για να διεξάγουν το έργο της μάθησης (αλγόριθμοι εκμάθησης).

8) Ερμηνεία των αποτελεσμάτων των αλγορίθμων - αξιολόγηση των προτύπων. Τα εξαγόμενα πρότυπα ή μοτίβα αξιολογούνται, έτσι ώστε να προσδιοριστούν εκείνα για τα οποία ενδιαφερόμαστε περισσότερο.

9) Ανάπτυξη του μοντέλου - σταθεροποίηση και παρουσίαση της γνώσης. Σε αυτό το βήμα, η εξορυγμένη γνώση ενσωματώνεται στο σύστημα και χρησιμοποιούνται οι κατάλληλες τεχνικές αντιπροσώπευσης αυτής, έτσι ώστε να παρουσιαστεί κατανοητά.

Όλα τα παραπάνω στάδια συνοψίζονται στην παρακάτω εικόνα.

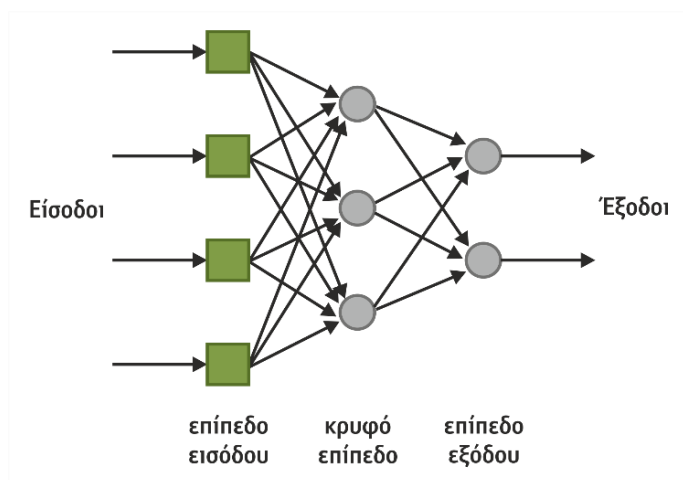


Εικόνα 7: Στάδια ανακάλυψης γνώσης [36]

### 5.1.3. Χρησιμοποιούμενα εργαλεία εξόρυξης δεδομένων

Τα εργαλεία εξόρυξης δεδομένων (Mining Tools) προέρχονται συνήθως από το πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης και τα κυριότερα είδη αυτών αναφέρονται παρακάτω.[37],[38],[39]

- **Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks)** : Είναι μη γραμμικά μοντέλα πρόβλεψης τα οποία χρησιμοποιούν δεδομένα με ήδη γνωστά αποτελέσματα, για να εκπαιδεύσουν ένα μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί για να κάνει προβλέψεις. Αποτελούνται από ένα δίκτυο από μονάδες επεξεργασίας παράλληλες μεταξύ τους, οργανωμένες σε μια σειρά επιπέδων και συνδεδεμένες μεταξύ του μέσω του κατάλληλου βάρους (weight), που χαρακτηρίζει την ισχύ της σύνδεσης. Η βάση της συγκεκριμένης μορφής είναι η προσπάθεια να εξομοιωθεί το δίκτυο με τον τρόπο λειτουργίας που έχουν στους ανθρώπινους εγκεφάλους οι νευρώνες, όταν επεξεργάζονται σήματα που λαμβάνουν από το περιβάλλον.



Εικόνα 8: Νευρωνικά Δίκτυα [40]

- **Δέντρα Αποφάσεων (Decision Trees)** : Πρόκειται για μοντέλα στήριξης της λήψης αποφάσεων που δημιουργούν κανόνες, πάνω στους οποίους βασίζονται και ταξινομούν το σύνολο των δεδομένων. Κάθε κόμβος ενός Δέντρου κάνει έλεγχο της τιμής ενός χαρακτηριστικού, κάθε κλαδί αναπαριστά ένα πιθανό αποτέλεσμα και κάθε φύλλο αναπαριστά κάποια ταξινόμηση ή σύνολο ταξινομήσεων.



Εικόνα 9: Δέντρο Απόφασης [41]

- **Γενετικοί Αλγόριθμοι (Genetic Algorithms)** : Πρόκειται για μια τεχνική που βασίζεται σε στοιχεία φυσικής εξέλιξης (natural evolution) και ο τρόπος λειτουργίας τους είναι εμπνευσμένος από τη βιολογία. Επιχειρούν να αναπαράγουν στους υπολογιστές τους μηχανισμούς της βιολογικής εξέλιξης με τον ίδιο τρόπο που η τεχνητή νοημοσύνη επιχειρεί να αναπαραστήσει και να μιμηθεί τις διαδικασίες της γνώσης. Τα προγράμματα εξελίσσονται μέχρι να φτάσουν, μέσω μεταλλάξεων, διασταυρώσεων και φυσικής επιλογής, σε μια αποτελεσματική φόρμουλα η οποία θα εκτελεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο μια συγκεκριμένη εργασία.

- **Μέθοδος Γειτνίασης (Nearest Neighbor Method)** : Πρόκειται για μια τεχνική ταξινόμησης, όπου το κάθε νέο δεδομένο συγκρίνεται με τα ήδη υπάρχοντα και εκχωρείται στην τάξη του τελικά πλησιέστερου. Η σύγκριση αυτή γίνεται με τη χρήση του κατάλληλου μέτρου απόστασης.

- **Επαγωγή Κανόνων (Rule Induction)** : Πρόκειται για τη χρήση κανόνων if-then που βασίζονται σε στατιστικά μοντέλα. Προϋπόθεση είναι συνήθως ένα σύνολο ελέγχων που χρησιμοποιούν λογικές συζεύξεις και το αποτέλεσμα είναι η εκχώρηση κάποιας τιμής ή η πραγματοποίηση κάποιας ταξινόμησης.

#### **5.1.4. Μηχανισμοί εξόρυξης δεδομένων**

Στο data mining χρησιμοποιούνται διαφορετικά είδη μεθόδων, ανάλογα με το σύνολο και το είδος των δεδομένων που διατίθενται, καθώς και τους στόχους του χρήστη:

- **Κατηγοριοποίηση (Classification)** : Η κατηγοριοποίηση (classification) είναι μία τεχνική της εξόρυξης δεδομένων, κατά την οποία ένα στοιχείο ανατίθεται σε ένα προκαθορισμένο σύνολο κατηγοριών. Ο όρος κατηγοριοποίηση συναντάται στην βιβλιογραφία και ως ταξινόμηση. Γενικότερα, ο στόχος της διαδικασίας αυτής είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου, το οποίο αργότερα θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατηγοριοποίηση μελλοντικών δεδομένων. Τέτοια παραδείγματα είναι ο διαχωρισμός των emails με βάση την επικεφαλίδα τους ή το περιεχόμενό τους, η πρόβλεψη καρκινικών κυττάρων χαρακτηρίζοντας τα ως καλοήθη ή κακοήθη, η κατηγοριοποίηση πελατών μιας τράπεζας ανάλογα με την πιστωτική τους ικανότητα κ.α. [42].

- **Παλινδρόμηση (Regression)** : Η παλινδρόμηση είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη στατιστική τεχνική μοντελοποίησης για την έρευνα της συσχέτισης μεταξύ μίας εξαρτώμενης μεταβλητής και μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών[43]. Χρησιμοποιείται με σκοπό την εκχώρηση δεδομένων σε μία πραγματική μεταβλητή πρόβλεψης, όπως ισχύει και στην περίπτωση της κατηγοριοποίησης όταν είναι διακριτή, αλλιώς καλείται παλινδρόμηση αν

η μεταβλητή είναι συνεχής. Η παλινδρόμηση προϋποθέτει ότι τα σχετικά δεδομένα ταιριάζουν με μερικά γνωστά είδη συνάρτησης και μετά καθορίζει την καλύτερη συνάρτηση αυτού του είδους που μοντελοποιεί τα δεδομένα που έχουν δοθεί. Αποτέλεσμα της παλινδρόμησης όταν χρησιμοποιείται ως τεχνική εξόρυξης δεδομένων, αποτελεί ένα μοντέλο που χρησιμοποιείται αργότερα για να προβλέψει τις τιμές της κατηγορίας για τα νέα δεδομένα. Τέτοια παραδείγματα εφαρμογής της παλινδρόμησης αποτελεί η πρόβλεψη της ζήτησης για ένα νέο προϊόν ή υπηρεσία συναρτήσει των δαπανών διαφήμισης ή ο υπολογισμός της ταχύτητας του ανέμου σε σχέση με την θερμοκρασία, την υγρασία και την ατμοσφαιρική πίεση του περιβάλλοντος[44].

- **Ανάλυση Συστάδων (Clustering)** : Είναι η διαδικασία εκείνη κατά την οποία ένα σύνολο από δεδομένα διαχωρίζονται σε ένα σύνολο από λογικές ομάδες (clusters). Η καταχώρηση αντικειμένων σε ίδια ομάδα μεταφράζεται ως ομοιότητα των αντικειμένων αυτών και αντίστροφα (αντικείμενα που ανήκουν σε διαφορετικές ομάδες είναι ανόμοια). Στόχος της διαδικασίας αυτής είναι να μεγιστοποιηθεί η ομοιότητα εντός των ομάδων και η ανομοιότητα μεταξύ των ομάδων. Αφού σχηματιστούν οι ομάδες, μπορούν να δημιουργηθούν κανόνες που να τις περιγράφουν[45].

- **Ανίχνευση Ανωμαλιών (Anomaly Detection)** : Ανίχνευση ανωμαλιών καλείται η αναγνώριση προτύπων από ένα σύνολο δεδομένων που εμφανίζουν διαφορετική συμπεριφορά από τη συνηθισμένη. Στόχος είναι η υψηλού επιπέδου ανίχνευση πιθανών ανωμαλιών, διατηρώντας όμως χαμηλά ποσοστά λανθασμένης προειδοποίησης. Ως εφαρμογή μπορούμε να αναφέρουμε τον προσδιορισμό απειλής στην έγκριση δανείων ή πιστωτικών καρτών από μια τράπεζα[46].

- **Κανόνες Συσχέτισης (Association Rules Mining)** : Πρόκειται για αναζητήσεις σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών. Οι κανόνες συσχέτισης αποτελούν μία από τις σημαντικότερες και νεότερες τεχνικές εξόρυξης γνώσης από μεγάλες βάσεις δεδομένων. Οι πληροφορίες που συγκεντρώνονται παράγουν ενδιαφέρουσες συσχετίσεις και πρότυπα, που βρίσκουν εφαρμογή από τους τομείς της ζωής και της ενασχόλησης του ανθρώπου μέχρι τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, την αγορά και διαχείριση ρίσκου. Αυτό που έδωσε όμως μεγάλη ώθηση στους κανόνες συσχέτισης ήταν η ανάγκη κατανόησης και ανάλυσης του καλαθιού αγοράς (market basket analysis). Για παράδειγμα, ένα σούπερ μάρκετ μπορεί να συλλέξει δεδομένα που αφορούν τις αγοραστικές συνήθειες των πελατών του. Χρησιμοποιώντας τους κανόνες συσχέτισης, το σούπερ μάρκετ μπορεί να υπολογίσει ποια προϊόντα αγοράζονται συνήθως μαζί και να χρησιμοποιήσει αυτή την πληροφορία για αγοραστικούς σκοπούς[47].

### **5.1.5. Βιβλιογραφική επισκόπηση**

Όσον αφορά την εξόρυξη δεδομένων που σχετίζονται με ναυτικά ατυχήματα στην ελληνική αρθρογραφία, υπάρχουν δύο δημοσιευμένες μελέτες: Το πρώτο δημοσιεύθηκε το 2009 από τους Δημήτρη Κοκότο και Ερνέστο Τζανάτο[48] και το δεύτερο δημοσιεύθηκε το 2010 από τους Δημήτρη Κοκότο και Διονύση Λιναρδάτο[49]. Στα δύο αυτά paper χρησιμοποιείται το ίδιο σετ μεταβλητών και εξετάζονται λιγότερα από 300 ατυχήματα στο καθένα, αριθμός αρκετά μικρότερος από τα 868 ατυχήματα που αφορούν την παρούσα διπλωματική εργασία.

Στο πρώτο άρθρο, εξετάστηκαν 282 διαφορετικές περιπτώσεις ναυτικών ατυχημάτων που έγιναν από το 1993 μέχρι το 2006. Χρησιμοποιήθηκαν 6 μεταβλητές πρόβλεψης (τύπος πλοίου, Gross Tonnage, ηλικία του πλοίου, τύπος ατυχήματος, χρονική περίοδος πραγματοποίησης ατυχήματος, περιοχή του ατυχήματος) και μία δεσμευμένη μεταβλητή εξόδου (αιτία του ατυχήματος). Η χρονική περίοδος χωρίστηκε σε pre-ISM (πριν το 1998) και post-ISM (1999 και μετά), με σημείο αναφοράς τη θέσπιση του διεθνούς κώδικα International Safety Management το 1998. Οι τιμές της μεταβλητής εξόδου ήταν ΝΑΙ και ΟΧΙ και αφορούσαν το κατά πόσο ο ανθρώπινος παράγοντας αποτέλεσε την αιτία του ατυχήματος. Αρχικά, ελέγχθηκε η στατιστική σχετικότητα των μεταβλητών μέσω της μεθόδου  $\chi^2$  και στη συνέχεια έγινε ανάλυση μέσω της κατασκευής δέντρου κατηγοριοποίησης (classification tree) με τη βοήθεια των P-value, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα CHAID Algorithm (Chi squared Automatic Interaction Detector). Σε κάθε κλαδί εμπεριέχονταν πληροφορία σε μορφή ποσοστού % για τη μεταβλητή εξόδου. Η έρευνα έδειξε ότι η πιθανότητα μη-ανθρωπίνου λάθους μετά τη θέσπιση του κώδικα ήταν στο 65.3% και η πιθανότητα ανθρωπίνου λάθους μετά το 1998 μειώνεται κατά 49.3%.

Στο δεύτερο άρθρο, εξετάστηκαν 268 διαφορετικές περιπτώσεις ναυτικών ατυχημάτων που έγιναν από το 1995 μέχρι το 2006. Το σετ μεταβλητών καθώς και το λογισμικό με το οποίο δημιουργήθηκαν τα δέντρα ήταν τα ίδια με αυτά του προηγούμενου άρθρου. Τα δεδομένα ατυχημάτων υποβλήθηκαν σε επεξεργασία μέσω των δέντρων. Η ανάλυση αποκάλυψε ότι παρόλο που το ανθρώπινο σφάλμα διατήρησε τη θέση του ως κυρίαρχος παράγοντας στα ναυτικά ατυχήματα, υπάρχουν επίσης σημαντικά στοιχεία που δείχνουν ότι η εφαρμογή του κώδικα ISM οδήγησε σε συνολική μείωση των ατυχημάτων που οφείλονται στον άνθρωπο. Συμπερασματικά, το άρθρο κατέληγε ότι ο κώδικας ISM αποτελεί αποτελεσματικό μέτρο ασφαλείας για τη ναυτιλία.

## **5.2. Εξόρυξη των δεδομένων της παρούσας εργασίας**

Στο παρόν κεφάλαιο περιλαμβάνεται η εφαρμογή της εξόρυξης δεδομένων στο dataset που έχει δημιουργηθεί και ελεγχθεί μέσω της μεθόδου στατιστικού ελέγχου  $\chi^2$ . Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της συσταδοποίησης με τον αλγόριθμο k-medoids, με σκοπό τη δημιουργία ομάδων πλοίων(που έχουν πάθει ατύχημα) με παρόμοια χαρακτηριστικά.

### **5.2.1. Επιλογή και μετασχηματισμός των δεδομένων**

Οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

- α) Ο τύπος του ατυχήματος (Casualty type)
- β) Το DWT
- γ) Η σημαία του πλοίου (Flag)
- δ) Η ζώνη ατυχήματος (SIS Zone)
- ε) Η ηλικία του πλοίου (Age of ship)

Οι μεταβλητές είναι οι ίδιες που δείχτηκε στο κεφάλαιο 3 ότι επηρεάζουν τον τύπο του ατυχήματος χρησιμοποιώντας την μέθοδο  $\chi^2$ . Ωστόσο, έγιναν 2 σημαντικές τροποποιήσεις, έτσι ώστε να διασφαλιστεί η ποιότητα των αποτελεσμάτων, καθώς ο μεγάλος αριθμός διαφορετικών τιμών μπορεί να οδηγήσει σε ανομοιογένεια. Οι δεκάδες διαφορετικές σημαίες ομαδοποιήθηκαν σε Black, Grey και White. Τα 3 αυτά χρώματα καλύπτουν το φάσμα, από σημαίες υψηλής ποιότητας(White) μέχρι σημαίες με χαμηλή επίδοση, που θεωρούνται υψηλού(Grey) ή πολύ υψηλού(Black) κινδύνου. Το χρώμα της σημαίας βασίζεται στο συνολικό αριθμό επιθεωρήσεων και κρατήσεων την τελευταία τριετία και αφορά σημαίες με τουλάχιστον 30 επιθεωρήσεις κατά την περίοδο[50]. Αντίστοιχα, οι δεκάδες ζώνες ατυχημάτων ομαδοποιήθηκαν γεωγραφικά σε 9 καινούριες ζώνες, ανάλογα με τον ωκεανό ή τη θάλασσα που ανήκουν. Αυτές οι νέες ζώνες είναι οι Baltic Sea, Great Lakes, Gulf Of Mexico, Indian Ocean & Antarctic, Mediterranean & Black Sea, North Atlantic Ocean, North Pacific Ocean, South Atlantic Ocean, South Pacific Ocean.

Οι τροποποιήσεις αυτές είχαν σαν αποτέλεσμα τη μείωση του dataset σε 824 ατυχήματα, αφού κάποιες λίγες σημαίες δεν υπάρχουν σε καμία από τις 3 παραπάνω κατηγορίες και εξαιρέθηκαν της διαδικασίας. Έτσι, κρίθηκε σημαντικό να ελεγχθούν εκ νέου οι μεταβλητές μέσω του τεστ  $\chi^2$ , για να διαπιστωθεί η στατιστική τους σημαντικότητα. Στον Πίνακα 10 αναγράφονται τα αποτελέσματα του καινούριου στατιστικού ελέγχου:

Πίνακας 10: Τιμές του νέου  $\chi^2$

	<b>DWT</b>	<b>Flag</b>	<b>Zone</b>	<b>Age of ship</b>
$\chi^2$	35,33	15,84	47,26	32,02
Pvalue	1,84%	4,47%	4,01%	4,31%

Οι τιμές αυτές δείχνουν ότι η στατιστική σημαντικότητα αυτού του συστήματος δεδομένων είναι μεγάλη, εφόσον είναι όλες μικρότερες του 5%. Επομένως, όλες οι μεταβλητές που ελέγχθηκαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με αξιοπιστία στην εξόρυξη δεδομένων, αφού κρίνεται ότι επηρεάζουν τον τύπο ατυχήματος.

### **5.2.2. Επιλογή εργαλείων εξόρυξης**

#### **Το λογισμικό**

Για την πραγματοποίηση του data mining χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Rapidminer Studio 8. Το συγκεκριμένο λογισμικό παρέχει προηγμένες αναλυτικές λύσεις, μέσω πλαισίων που βασίζονται σε πρότυπα, τα οποία επιταχύνουν την εξόρυξη και μειώνουν τα λάθη, σχεδόν εξαλείφοντας την ανάγκη για εγγραφή κώδικα. Είναι γραμμένο στη γλώσσα προγραμματισμού Java και δίνει τη δυνατότητα εργασίας με σχεδόν όλες τις μεθόδους εξόρυξης δεδομένων, ενώ παρέχει μαθήματα μάθησης, μοντέλα και αλγόριθμους και μπορεί να λειτουργήσει και χρησιμοποιώντας scripts σε R και Python. Διαθέτει ένα πλαίσιο εργασίας που ονομάζεται design. Μέσα στην καρτέλα του design, ο χρήστης σύρει και τοποθετεί διάφορα operators, στα οποία ρυθμίζει ποικίλες επιλογές, ανάλογα με το σκοπό της μελέτης του και τη μορφή των δεδομένων του. Τα operators είναι πολλά και διαφορετικά και είναι της μορφής Είσοδος-Έξοδος, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στο χρήστη να κατασκευάζει πολύπλοκες διαδικασίες. Κάθε operator εκτελεί μία μόνο εργασία μέσα στη διαδικασία και η έξοδος του αποτελεί την είσοδο του επόμενου.

#### **Ο αλγόριθμος k-medoids**

Η συσταδοποίηση ασχολείται με την ομαδοποίηση σε κλάσεις, αντικειμένων που είναι παρόμοια μεταξύ τους ως προς κάποια χαρακτηριστικά και είναι ανόμοια ως προς τα ίδια χαρακτηριστικά με τα αντικείμενα που ανήκουν σε άλλες κλάσεις. Ο αλγόριθμος συσταδοποίησης που χρησιμοποιήθηκε στην εξόρυξη δεδομένων είναι ο k-medoids. Επιλέχθηκε, γιατί είναι αποτελεσματικότερος στη διαχείριση σετ δεδομένων με αποκλειστικά κατηγορικές μεταβλητές, σε σχέση άλλους αλγόριθμους συσταδοποίησης που επιδιώκουν την ομαδοποίηση με βάση την ομοιότητα των αντικειμένων[51]. Ο k-medoids είναι ένας απόλυτος αλγόριθμος, δηλαδή κάθε αντικείμενο(σημείο) έχει αντιστοιχιστεί ακριβώς και μόνο σε μία κλάση. Η ομοιότητα μεταξύ των αντικειμένων βασίζεται στο μέτρο της μεταξύ τους απόστασης πάνω σε ένα υποθετικό υπερεπίπεδο  $x$  διαστάσεων, που δημιουργεί ο αλγόριθμος μόνος του ανάλογα με τον αριθμό των εμπλεκόμενων μεταβλητών.

Μια απλή εξήγηση για το πώς λειτουργεί ο αλγόριθμος k-medoids είναι η παρακάτω: Πρώτα απ' όλα, το κέντρο μιας κλάσης ονομάζεται medoid. Υποθέτοντας ότι χρησιμοποιείται η Ευκλείδεια απόσταση ως μέτρο, το κέντρο ορίζεται ως το σημείο για το οποίο η τιμή κάθε μεταβλητής είναι ο μέσος όρος των τιμών της αντίστοιχης μεταβλητής για όλα τα σημεία της κλάσης, δηλαδή ως το σημείο του οποίου η μέση ανομοιογένεια ως προς όλα τα υπόλοιπα σημεία της κλάσης είναι η ελάχιστη. Το medoid μιας κλάσης πρέπει να είναι πάντα ένα από τα

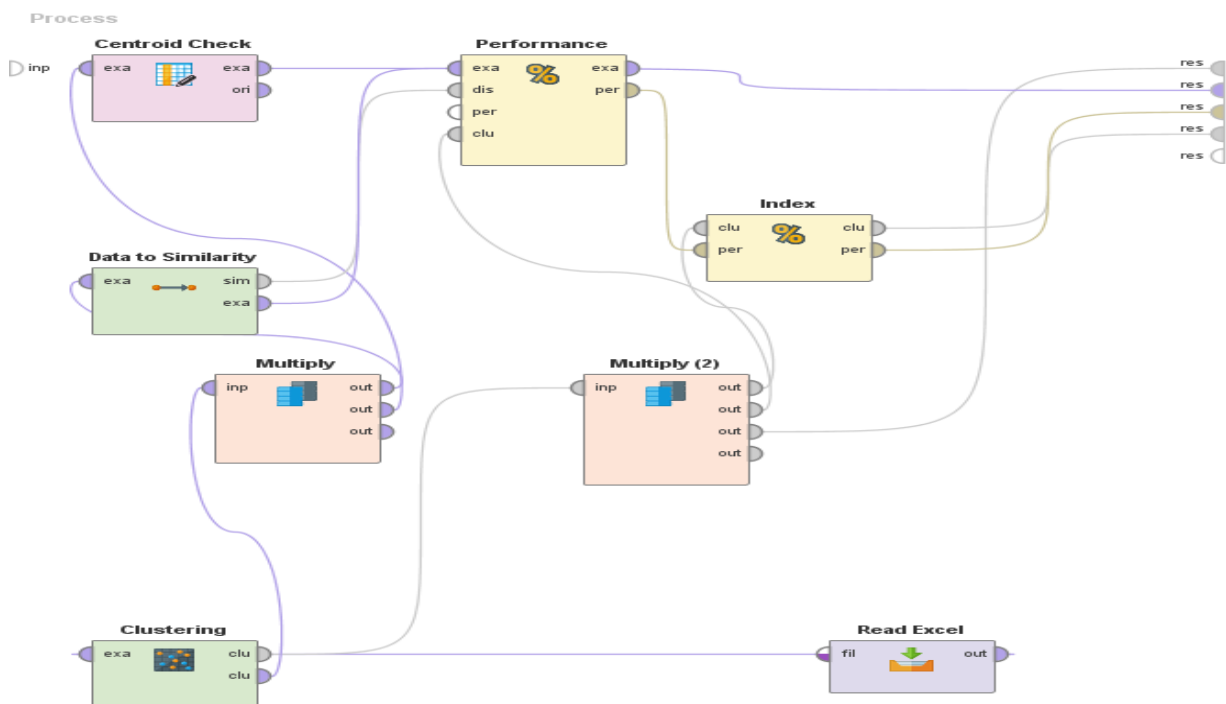
σημεία της κλάσης, κάτι που λειτουργεί σαν ρυθμιστικός παράγοντας στο πώς εκτελείται η συσταδοποίηση, καθώς εκτελούνται επαναληπτικά διαδοχικές αναθέσεις σημείων σε κλάσεις δοκιμάζοντας συνεχώς κέντρα, μέχρι η επόμενη επανάληψη του αλγορίθμου να μην επιφέρει καμία αλλαγή στις κλάσεις. Αυτή είναι η κύρια διαφορά μεταξύ των k-μέσων και k-medoids αλγορίθμων. Στον αλγόριθμο k-mean, το κέντρο της κλάσης είναι συχνά ένα φανταστικό σημείο, όχι μέρος της ίδιας της κλάσης.

Για να καθοριστεί η απόσταση μεταξύ των σημείων στην παρούσα διπλωματική, χρησιμοποιήθηκε ο τύπος ομοιότητας του Kulczynski. Το συγκεκριμένο κριτήριο ομοιότητας επιλέχθηκε λόγω του ότι είναι από τα πιο αποτελεσματικά, καθώς είναι σε θέση να διαχειριστεί δεδομένα με ελλείψεις και ακραίες τιμές, κάτι που δεν κάνει καλά για παράδειγμα η εργασία μέσω Ευκλειδίων αποστάσεων[51]. Ο τύπος του Kulczynski είναι:

$$S_{Kul} = \frac{1}{d_{Kul}} = \frac{\sum_{i=1}^d \min(P_i, Q_i)}{\sum_{i=1}^d |P_i - Q_i|}$$

### 5.2.3. Ανάλυση της διαδικασίας εξόρυξης

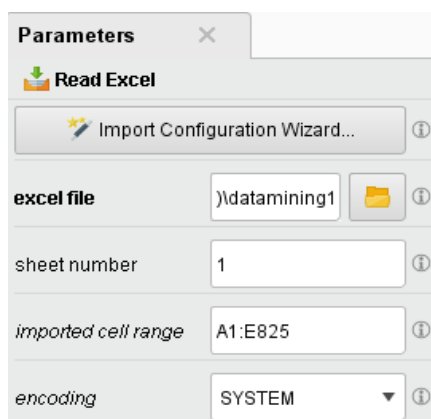
Στην Εικόνα 10 φαίνεται η συνδεσμολογία που κατασκευάστηκε για την πραγματοποίηση της συσταδοποίησης της παρούσας εργασίας, τόσο για την έκθεση της δουλειάς που έγινε όσο και για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του Rapidminer. Παρακάτω, περιγράφεται βήμα βήμα και με τη βοήθεια εικόνων, η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον καταμερισμό των 824 ατυχημάτων σε κλάσεις, με σκοπό την εξαγωγή ερμηνεύσιμων συμπερασμάτων. Ο χρόνος που χρειάζεται το Rapidminer για να τρέξει τη διαδικασία του clustering που κατασκευάστηκε είναι περίπου 2,5 λεπτά :



Εικόνα 10: Διαδικασία Clustering της παρούσας εργασίας

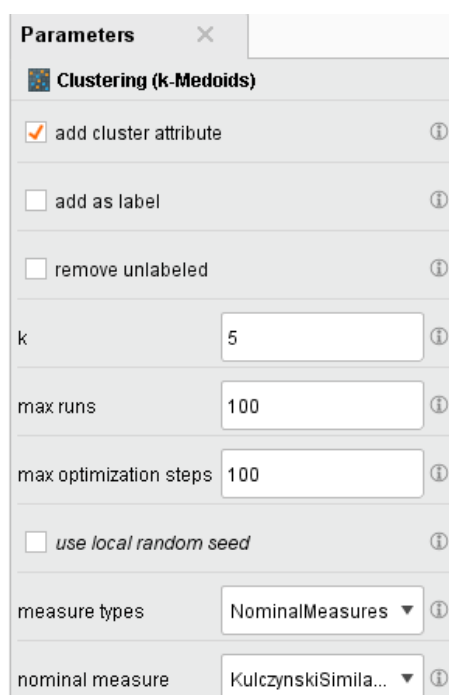


1) Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε ο operator του Rariminer “Read Excel”, για να αναγνωρίσει και να διαβάσει το πρόγραμμα το σετ δεδομένων. Οι ρυθμίσεις του operator φαίνονται στην Εικόνα 11:



Εικόνα 11: Ο operator “Read Excel”

2) Κατόπιν, χρησιμοποιήθηκε ο operator “Clustering(k-medoids)” για την πραγματοποίηση της συσταδοποίησης. Οι ρυθμίσεις που έγιναν δικαιολογούνται μετά την Εικόνα 12.



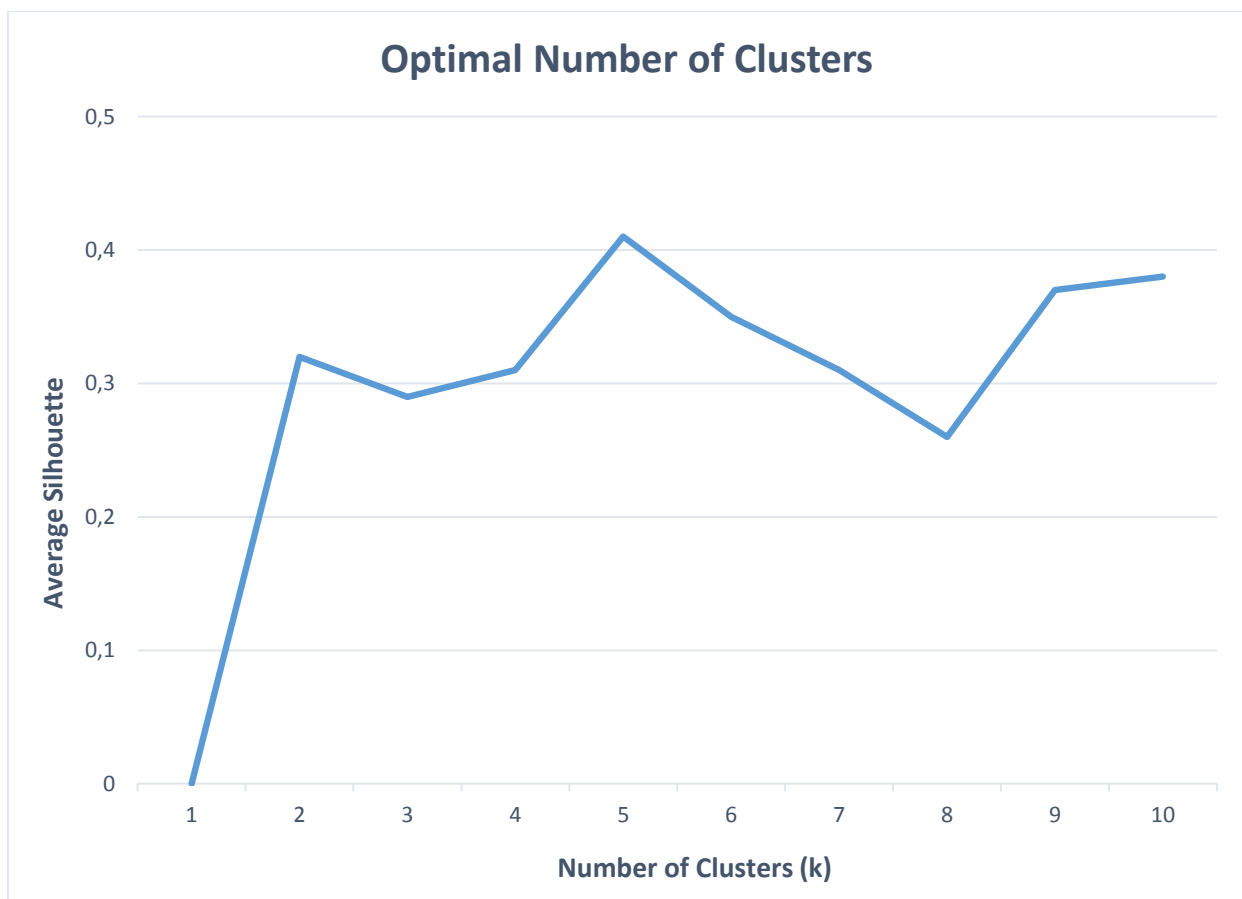
Εικόνα 12: Ο operator “Clustering(k-medoids)”

- Το “add as label” πεδίο μένει αμαρκάριστο, γιατί αν μαρκαιστεί, ο αλγόριθμος παίρνει μια από τις μεταβλητές σαν ετικέτα κλάσης και δημιουργεί και διαμορφώνει τις κλάσεις σύμφωνα με τις διαφορετικές τιμές της μεταβλητής-ετικέτας. Δηλαδή, αν έχουμε x,y,z διαφορετικές τιμές της μεταβλητής-ετικέτας, το πρόγραμμα θα δημιουργήσει 3 κλάσεις, που η καθεμία θα περιέχει αντίστοιχα όλα τα x,y,z. Επειδή ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να βγουν ερμηνεύσιμα στατιστικά συμπεράσματα από το clustering, επιλέχθηκε να μη χειραγωγηθεί ο αλγόριθμος.

- Το  $k$  εκφράζει τον αριθμό των κλάσεων που θα χωρίσει ο αλγόριθμος, ο οποίος αριθμός επιλέγεται από το χρήστη. Εδώ κρίνεται αναγκαίο να εξηγηθεί ο τρόπος που αποφασίστηκε ο αριθμός 5 και έγινε η συγκεκριμένη ρύθμιση.

Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος "Average Silhouette". Εν συντομία, η συγκεκριμένη μέθοδος μετρά την ποιότητα μιας συσταδοποίησης. Δηλαδή, καθορίζει πόσο καλά κάθε αντικείμενο βρίσκεται μέσα στην κλάση του. Όσο υψηλότερος είναι ο δείκτης "Average Silhouette" τόσο καλύτερη χαρακτηρίζεται η συσταδοποίηση[52].

Η μέθοδος "Average Silhouette" υπολογίζει τον αντίστοιχο δείκτη των παρατηρήσεων για διαφορετικές τιμές του  $k$ . Ο βέλτιστος αριθμός κλάσεων  $k$  είναι αυτός που μεγιστοποιεί το δείκτη σε μια σειρά πιθανών τιμών για το  $k$ . Πράγματι, το πρόγραμμα ρυθμίστηκε πλήρως και πραγματοποίησε συσταδοποιήσεις για  $k$  από 1 μέχρι και 10. Στη συνέχεια, με έτοιμο script που εφαρμόζει τη μέθοδο σε R και εισήχθη στο Rapidminer, μετρήθηκαν και κρατήθηκαν σε αρχείο excel οι 10 διαφορετικές τιμές του δείκτη "Average Silhouette". Προέκυψε το παρακάτω Σχήμα 43, όπου φαίνονται οι τιμές του δείκτη, ο οποίος μεγιστοποιείται για  $k=5$ . Άρα η βέλτιστη συσταδοποίηση θα πραγματοποιηθεί για  $k=5$ .



Σχήμα 43: Μέθοδος "Average Silhouette"

- Τα πεδία "max runs" και "max optimization steps" δηλώνουν το πόσες φορές θα τρέξει ο αλγόριθμος και πόσες επαναλήψεις θα γίνουν σε κάθε τρέξιμο αντίστοιχα.

Διαπιστώθηκε, με συνεχόμενες δοκιμές, ότι από τις 45 επαναλήψεις και τα 75 βήματα βελτιστοποίησης και μετά δεν υπήρχαν αλλαγές στις κλάσεις. Δηλαδή, είτε συμπληρώναμε τα πεδία με 75 είτε με 1000, το αποτέλεσμα ήταν ίδιο. Το μόνο που άλλαζε ήταν ο χρόνος εκτέλεσης από το πρόγραμμα. Τυπικά, χρησιμοποιήθηκε η τιμή 100 και για τα δύο πεδία.

- Το πεδίο “measure types” συμπληρώθηκε με nominal measures, εφόσον οι μεταβλητές είναι κατηγορικές μετά το μετασχηματισμό που έγινε. Στο “nominal measure” χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο ομοιότητας του Kulczynski.

**3)** Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε 2 φορές ο operator “Multiply”, ο οποίος απλά πολλαπλασίασε την έξοδο του operator που πραγματοποίησε το clustering, λόγω της ανάγκης πολλαπλής εισόδου του cluster set στους επόμενους operators.

**4)** Στο πλαίσιο της αξιολόγησης της πραγματοποιηθείσας συσταδοποίησης, πέραν της μεθόδου “Average Silhouette”, κρίθηκε σημαντικό να χρησιμοποιηθούν και οι ενσωματωμένοι στο πρόγραμμα operators “Data to similarity” και “Centroid Check” σε συνδυασμό με τον “Performance”. Ο “Data to similarity” ελέγχει την ομοιότητα μεταξύ των στοιχείων που βρίσκονται σε ίδιες κλάσεις και κατ’ επέκταση την ανομοιότητα μεταξύ των διαφορετικών κλάσεων. Ο “Centroid Check” ελέγχει κατά πόσο τα κέντρα είναι αντιπροσωπευτικά των κλάσεων που δημιουργήθηκαν. Οι έξοδοι των δύο αυτών operator χρησιμοποιούνται σαν εισοδοί στον “Performance”, που με τη σειρά του εισέρχεται στον “Index”. Ο “Index” αποτελεί ουσιαστικά τον τρόπο έκφρασης της συνεργασίας των τριών προηγούμενων και εισάγοντάς του το cluster model και την έξοδο του “Performance”, παρέχει ένα διάλυσμα απόδοσης της συσταδοποίησης. Το διάλυσμα αυτό αποτελεί εσωτερική μέθοδο ελέγχου του Rapidminer και παίρνει τιμές από 0 έως 1. Οι 4 αυτοί Operators δε διαθέτουν εσωτερικές ρυθμίσεις όπως οι προηγούμενοι και είναι ο συνδυασμός των εργασιών τους που παρέχει την αξιολόγηση της διαδικασίας που οργανώθηκε. Η τιμή του “Index” στην προκειμένη περίπτωση αναφέρεται παρακάτω, στα αποτελέσματα της συσταδοποίησης.

### 5.2.3. Αποτελέσματα της συσταδοποίησης

Αφού κατασκευάστηκε η διαδικασία της συσταδοποίησης, μετά από δοκιμές στις διάφορες εσωτερικές ρυθμίσεις των operators, το πρόγραμμα επιλέχθηκε να τρέξει και να παρουσιάσει τα αποτελέσματα της εξόρυξης δεδομένων. Αυτό πραγματοποιήθηκε σε μια νέα πλατφόρμα που προκύπτει αυτόματα με το που τελειώσει το τρέξιμο του αλγόριθμου, την καρτέλα results.

Στην Εικόνα 13, φαίνεται η τιμή που εξάγει ο operator "Index", δηλαδή την τιμή της αυτοαξιολόγησης της διαδικασίας από το λογισμικό.

```
PerformanceVector  
Number of clusters: 5.000  
Cluster Number Index: 0.994
```

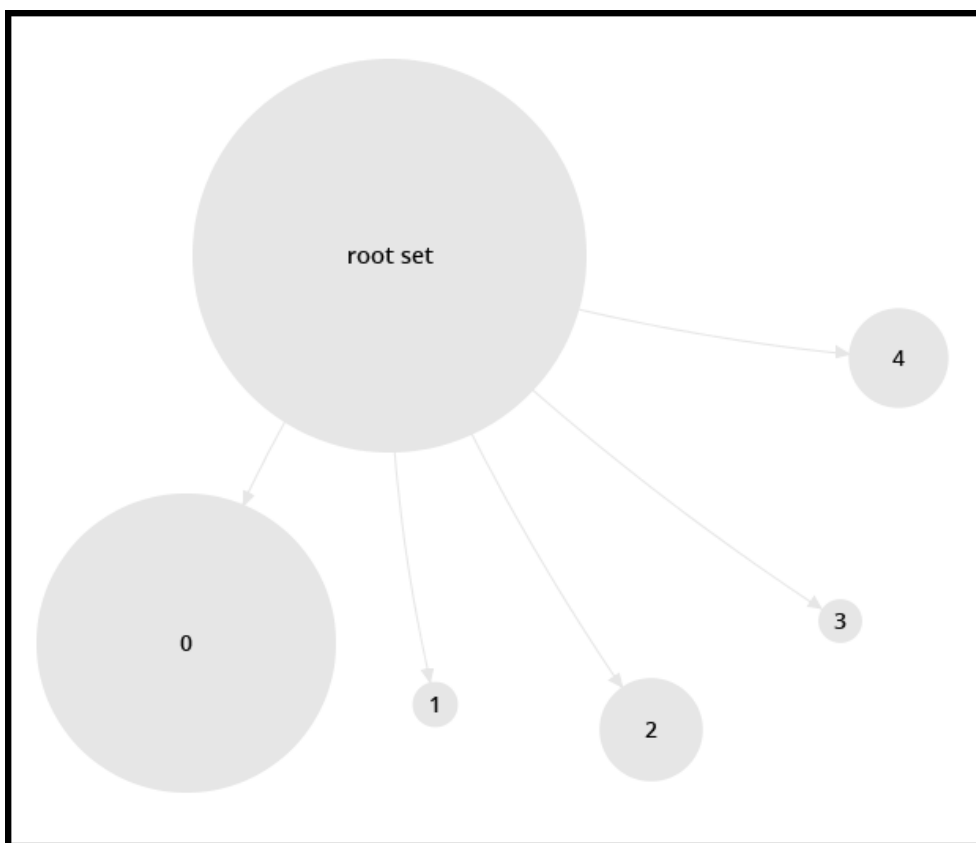
*Εικόνα 13: Αποτέλεσμα του operator "Index"*

Η τιμή 99,4%, χρησιμοποιώντας 5 κλάσεις, είναι πάρα πολύ κοντά στη βέλτιστη τιμή 100%, κάτι που υποδεικνύει την επιτυχία του τρόπου κατασκευής και διενέργειας της συσταδοποίησης.

Στην Εικόνα 14 δίνεται το μέγεθος των δημιουργηθέντων κλάσεων, ενώ στην Εικόνα 15 μια πρόχειρη απεικόνιση του σχετικού μεγέθους της κάθε κλάσης σε σχέση με το dataset, η οποία παρέχεται σαν αποτέλεσμα της διαδικασίας.

```
Cluster Model  
Cluster 0: 455 items  
Cluster 1: 56 items  
Cluster 2: 132 items  
Cluster 3: 54 items  
Cluster 4: 127 items  
Total number of items: 824
```

*Εικόνα 14: Αριθμητική απεικόνιση του μεγέθους των κλάσεων*



Εικόνα 15: Γραφική απεικόνιση του μεγέθους των κλάσεων

Όπως φαίνεται, δημιουργήθηκαν 5 διαφορετικές κλάσεις, με αύξοντα αριθμό από το 0 μέχρι και το 4. Παρατηρείται ότι κατασκευάστηκαν 5 κλάσεις με περιπτώσεις ατυχημάτων σε chemical tanker, εκ των οποίων η κλάση 0 περιέχει το 55,22% των ατυχημάτων του dataset, οι κλάσεις 2 και 4 είναι σχεδόν ίδιες σε μέγεθος και εμπεριέχουν το 16,01% και 15,42% αντίστοιχα, ενώ η 1 και η 3 είναι αισθητά μικρότερες και εμπεριέχουν το 6,80% και 6,55% αντίστοιχα.

Ακολουθεί παρουσίαση λεπτομερών αποτελεσμάτων της συσταδοποίησης, αρχικά με τη μορφή πίνακα. Στον Πίνακα 11 φαίνεται λεπτομερώς, τόσο η συνολική όσο και η ανά κλάση ποσοστιαία συμμετοχή της κάθε τιμής της κάθε ξεχωριστής μεταβλητής που υπάρχει στο dataset. Οι κυρίαρχες τιμές κάθε μεταβλητής σε κάθε κλάση είναι χρωματισμένες με πράσινο χρώμα.

Πίνακας 11: Συνολικά στατιστικά στοιχεία και στατιστικά στοιχεία συσταδοποίησης

		Total Dataset	Cluster_0	Cluster_1	Cluster_2	Cluster_3	Cluster_4
<b>Number of Casualties</b>		824	455	56	132	54	127
<b>Casualty Type</b>	Collision	28.76%	20.22%	25.00%	0.00%	27.78%	91.34%
	Contact	8.86%	6.81%	3.57%	0.00%	72.22%	0.79%
	Wrecked/Stranded	17.11%	0.00%	12.50%	100.00%	0.00%	1.57%
	Hull/Mchy. Damage	35.92%	63.52%	0.00%	0.00%	0.00%	5.51%
	Fire/Explosion	9.34%	9.45%	58.93%	0.00%	0.00%	0.79%
<b>DWT</b>	0-10.000	48.18%	71.65%	0.00%	49.24%	0.00%	4.72%
	10.000-20.000	25.49%	12.53%	25.00%	25.00%	33.33%	69.29%
	20.000-30.000	5.10%	2.64%	53.57%	0.00%	0.00%	0.00%
	30.000-40.000	8.74%	4.84%	8.93%	15.91%	40.74%	1.57%
	40.000-50.000	9.83%	6.81%	10.71%	6.06%	22.22%	18.90%
	50.000-60.000	2.67%	1.54%	1.79%	3.79%	3.70%	5.51%
<b>Age of Ship</b>	0-4	31.43%	29.89%	35.71%	25.76%	33.33%	40.16%
	5-9	28.28%	27.47%	25.00%	30.30%	35.19%	27.56%
	10-14	17.35%	15.38%	17.86%	21.21%	20.37%	18.90%
	15-19	12.38%	15.60%	12.50%	9.09%	9.26%	5.51%
	20-24	7.89%	8.79%	5.36%	9.85%	1.85%	6.30%
	25-29	2.67%	2.86%	3.57%	3.79%	0.00%	1.57%
<b>Flag</b>	Black	0.73%	1.10%	0.00%	0.76%	0.00%	0.00%
	Grey	7.16%	7.47%	8.93%	8.33%	3.70%	5.51%
	White	92.11%	91.43%	91.07%	90.91%	96.30%	94.49%
<b>Zone</b>	Baltic	6.19%	6.37%	3.57%	6.06%	9.26%	5.51%
	Great Lakes	3.28%	3.30%	3.57%	3.03%	7.41%	1.57%
	Gulf Of Mexico	6.07%	4.18%	12.50%	4.55%	18.52%	6.30%
	Indian Ocean & Antarctic	5.22%	5.05%	8.93%	6.06%	3.70%	3.94%
	Mediterranean & Black Sea	13.71%	13.63%	14.29%	13.64%	9.26%	15.75%
	North Atlantic	32.16%	31.87%	35.71%	34.09%	24.07%	33.07%
	North Pacific	16.26%	21.10%	8.93%	13.64%	1.85%	11.02%
	South Atlantic	6.55%	2.20%	5.36%	6.82%	11.11%	20.47%
	South Pacific	10.56%	12.31%	7.14%	12.12%	14.81%	2.36%

#### **5.2.4. Σχολιασμός και ερμηνεία των αποτελεσμάτων**

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 11, οι κλάσεις που δημιουργήθηκαν παρουσιάζουν μια αρκετά ικανοποιητική ομοιογένεια ως προς τα ομαδοποιημένα ατυχήματα που περιλαμβάνουν. Όσον αφορά τον τύπο ατυχήματος, είναι φανερό ότι η συσταδοποίηση οδήγησε σε ομάδες που περιλαμβάνουν κατ' ελάχιστο περίπου 60% και μέγιστο 100% περιπτώσεις ίδιου τύπου. Τα αντίστοιχα ποσοστά όσον αφορά το DWT είναι ελάχιστο περίπου 41% και μέγιστο 72%. Τα κυρίαρχα ποσοστά για τη σημαία βρίσκονται για όλες τις κλάσεις πάνω από 90%, ενώ τα κυρίαρχα ποσοστά της ηλικίας και της ζώνης ατυχήματος βρίσκονται σχεδόν κατά απόλυτη πλειοψηφία πάνω από το 30%.

Ειδικότερα, η κλάση 0 περιλαμβάνει κατά 63,52% ατυχήματα Hull/Mchy. Damage και αφορά κατά 71,65% πλοία με DWT μεταξύ 0 και 10.000 τόνων. Η κυρίαρχη τιμή για την ηλικία είναι τα 0-4 έτη σε ποσοστό 29,89%, για τη σημαία είναι το λευκό χρώμα κατά 91,43% και για τη ζώνη ατυχήματος η τιμή North Atlantic κατά 31,87%.

Η κλάση 1 περιλαμβάνει κατά 58,93% ατυχήματα Fire/Explosion και αφορά κατά 53,57% πλοία με DWT μεταξύ 20.000 και 30.000 τόνων. Η κυρίαρχη τιμή για την ηλικία είναι και εδώ τα 0-4 έτη σε ποσοστό 35,71%, για τη σημαία είναι το λευκό χρώμα κατά 91,07% και για τη ζώνη ατυχήματος η τιμή North Atlantic κατά 35,71%.

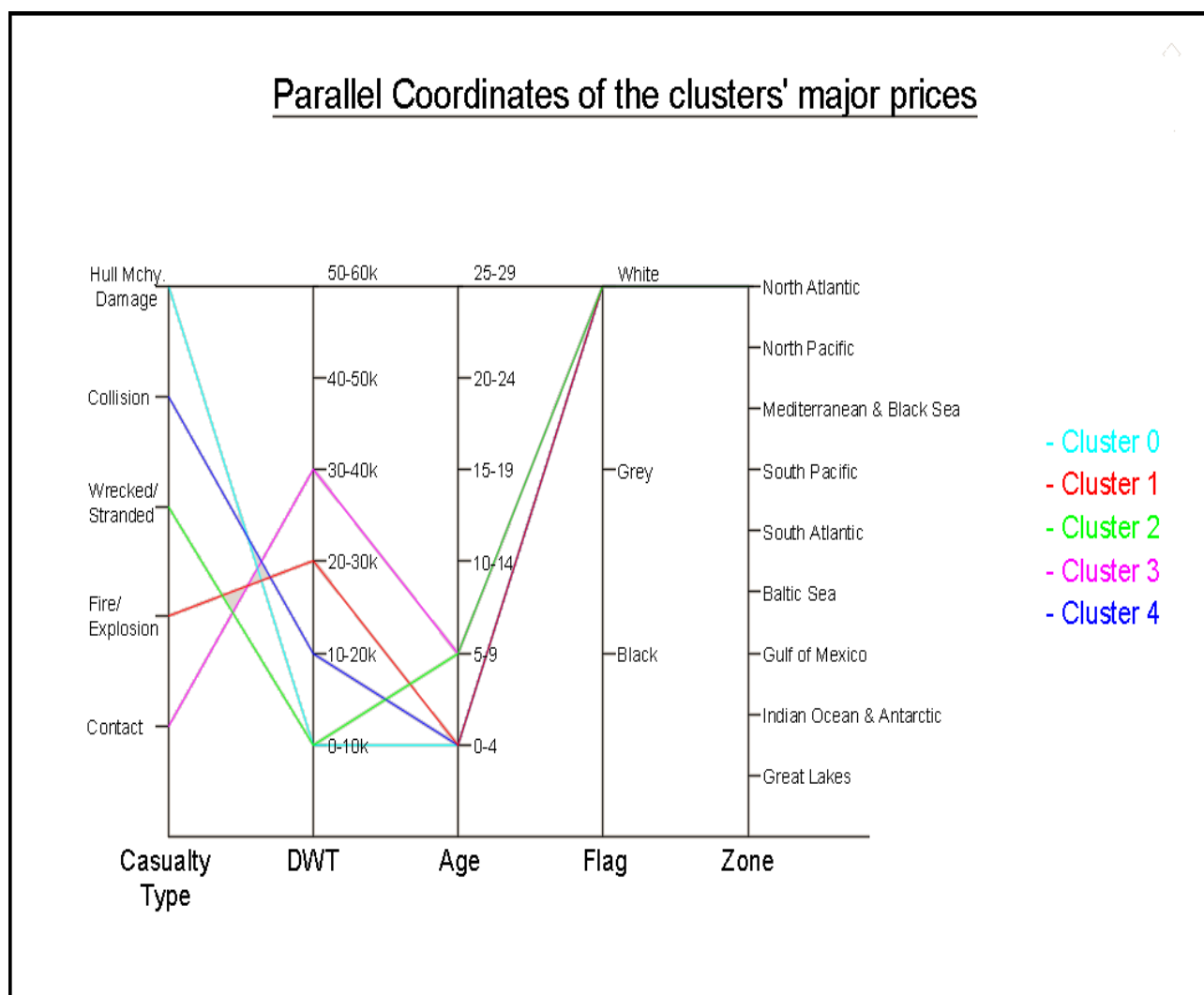
Η κλάση 2 εμφανίζει το απόλυτο 100% σε ατυχήματα Wrecked/Stranded και αφορά κατά 49,24% πλοία με DWT μεταξύ 0 και 10.000 τόνων. Η κυρίαρχη τιμή για την ηλικία είναι τα 5-9 έτη σε ποσοστό 30,30%, για τη σημαία είναι το λευκό χρώμα κατά 90,91% και για τη ζώνη ατυχήματος η τιμή North Atlantic κατά 34,09%.

Η κλάση 3 περιλαμβάνει κατά 72,22% ατυχήματα Contact και αφορά κατά 40,74% πλοία με DWT μεταξύ 30.000 και 40.000 τόνων. Η κυρίαρχη τιμή για την ηλικία είναι τα 5-9 έτη σε ποσοστό 35,19%, για τη σημαία είναι το λευκό χρώμα κατά 96,30% και για τη ζώνη ατυχήματος η τιμή North Atlantic κατά 24,07%.

Τέλος, η κλάση 3 περιλαμβάνει κατά 91,34% ατυχήματα Collision και αφορά κατά 69,29% πλοία με DWT μεταξύ 10.000 και 20.000 τόνων. Η κυρίαρχη τιμή για την ηλικία είναι τα 0-4 έτη σε ποσοστό 40,16%, για τη σημαία είναι το λευκό χρώμα κατά 94,49% και για τη ζώνη ατυχήματος η τιμή North Atlantic κατά 33,07%.

Κατασκευάστηκε ένα διάγραμμα Παράλληλων Συντεταγμένων(Σχήμα 44), όπου απεικονίζεται ο συνδυασμός, μέσω καμπυλών, των κυρίαρχων τιμών όλων των μεταβλητών σε κάθε κλάση. Ο σκοπός κατασκευής του συγκεκριμένου διαγράμματος ήταν να διευκολυνθεί η προσπάθεια εύρεσης προβληματικών χώρων αιτίου-αποτελέσματος. Στον οριζόντιο άξονα έχουν τοποθετηθεί οι 5 μεταβλητές που εισήχθησαν στη συσταδοποίηση. Για κάθε μία από τις 5 μεταβλητές χρησιμοποιήθηκε ένας ξεχωριστός κατακόρυφος άξονας για τις τιμές τους, καθότι οι μεταβλητές είναι κατηγορικές και δε μπορούν να μπουν σε ενιαίο άξονα τιμών. Έγινε δοκιμή να αδιαστατοποιηθούν οι άξονες, αλλά το οπτικό αποτέλεσμα ήταν δυσανάγνωστο, καθώς τα ποσοστά που είναι κοντά(π.χ. το 63,52% της κλάσης 0 για Hull/Mchy. Damage και το

58,93% της κλάσης 1 για Fire/Explosion) τοποθετούσαν διαφορετικές τιμές της ίδιας μεταβλητής σχεδόν τη μία πάνω στην άλλη. Ακολουθεί το διάγραμμα Παράλληλων Συντεταγμένων:

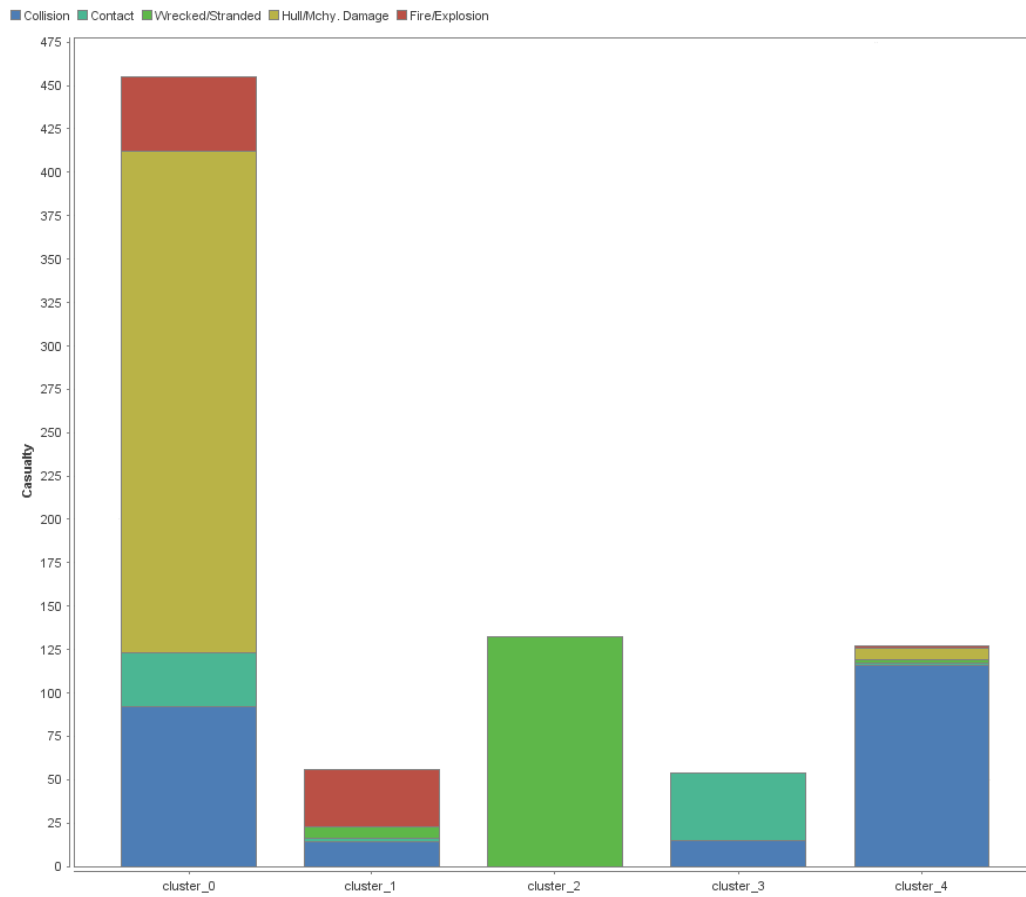


Σχήμα 44: Διάγραμμα Παράλληλων Συντεταγμένων των κυρίαρχων τιμών

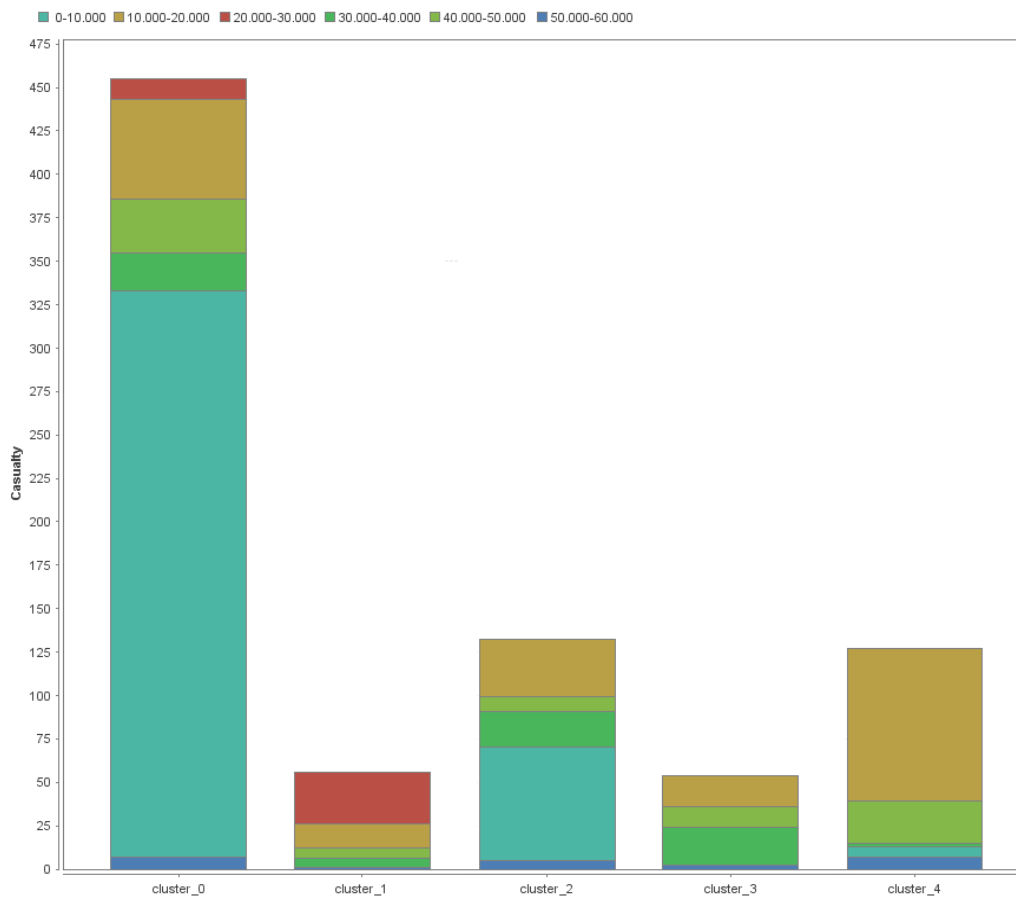
Από το διάγραμμα προκύπτει ότι υπάρχει εναλλαγή των κυρίαρχων τιμών μεταξύ των κλάσεων όσον αφορά τον τύπο ατυχήματος, το DWT και την ηλικία, ενώ παρουσιάζεται απόλυτη σύγκλιση στο χρώμα της σημαίας και στη ζώνη του ατυχήματος.

Επιπλέον, στην εύρεση των προβληματικών χώρων συνεισέφεραν και τα Σχήματα 45, 46, 47, 48 και 49, όπου παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών για κάθε μεταβλητή μέσα σε κάθε cluster ξεχωριστά, δηλαδή τα σύνολα των περιπτώσεων που περιέχει το κάθε cluster. Ουσιαστικά, τα 5 αυτά Σχήματα αποτελούν την οπτικοποίηση του Πίνακα 11. Μόνο που στα Σχήματα δε χρησιμοποιούνται τα παραπάνω ποσοστά σαν τιμές στον κατακόρυφο άξονα, αλλά αντί των ποσοστών χρησιμοποιήθηκε στον κατακόρυφο άξονα ο αριθμός των ατυχημάτων. Κατ' αυτόν τον τρόπο παρέχεται μια οπτικοποίηση που απεικονίζει και δίνει έμφαση και στο μέγεθος των κλάσεων.

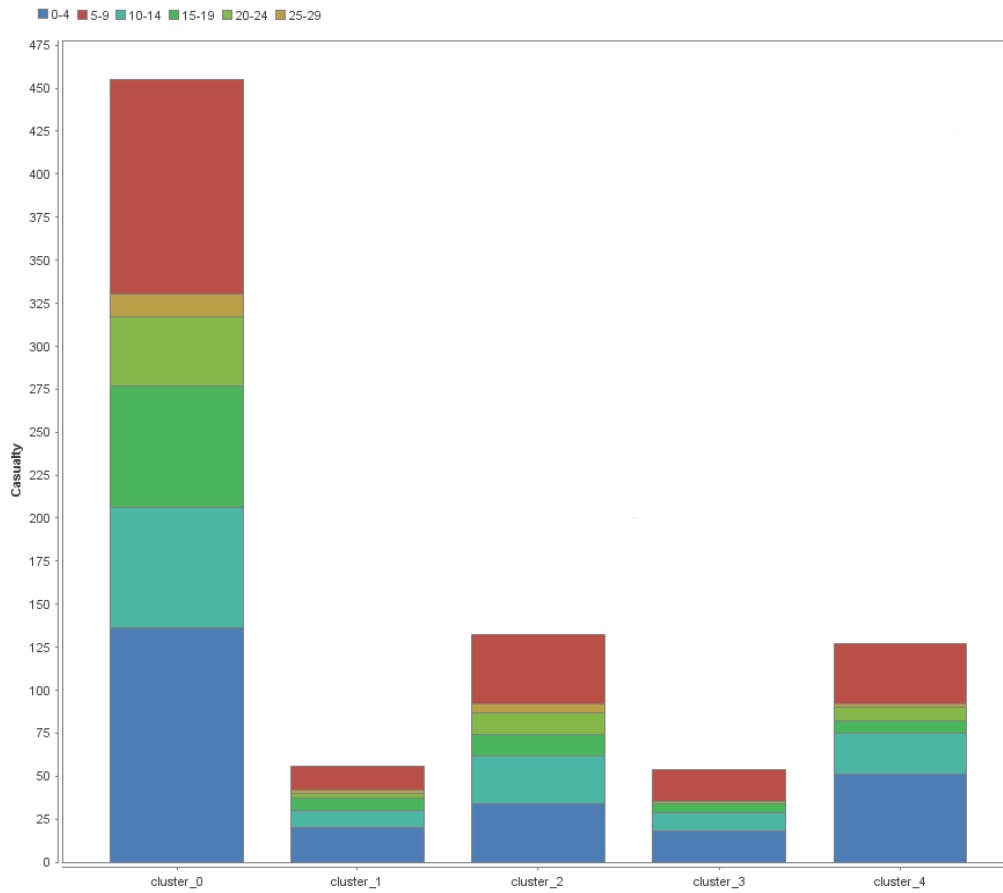




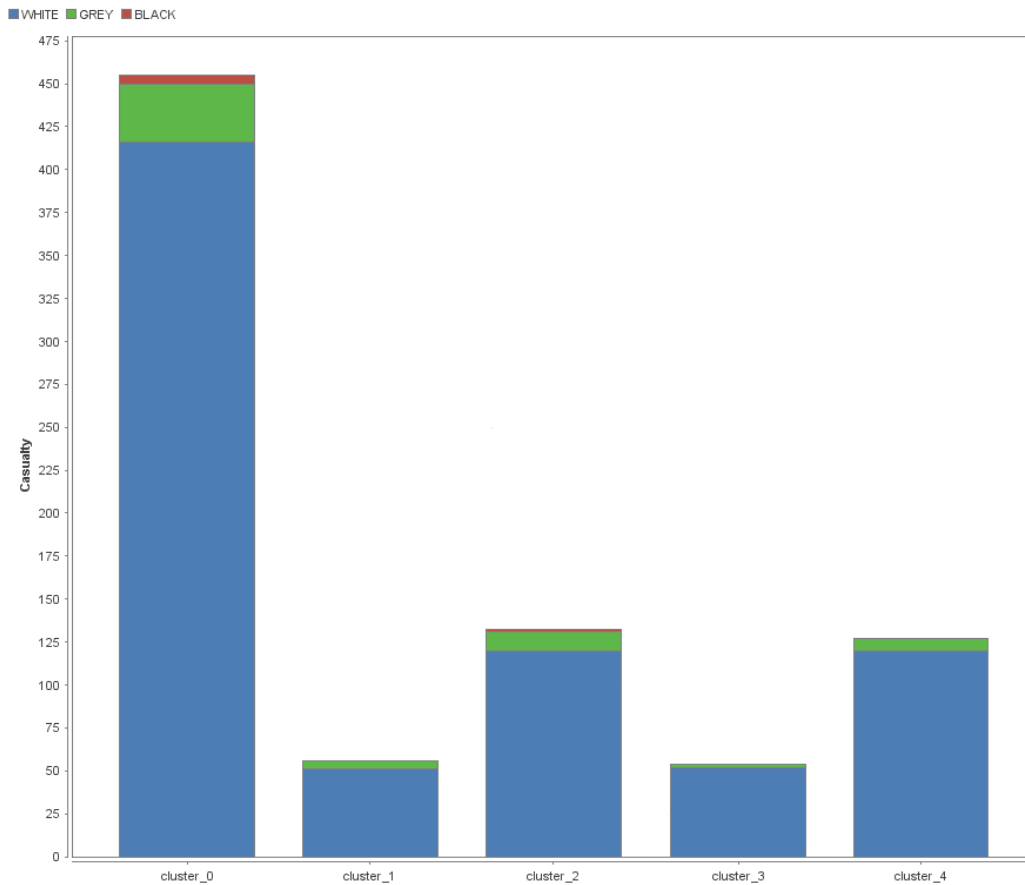
Σχήμα 45: Μεικτές μπάρες Clusters - Casualty Type



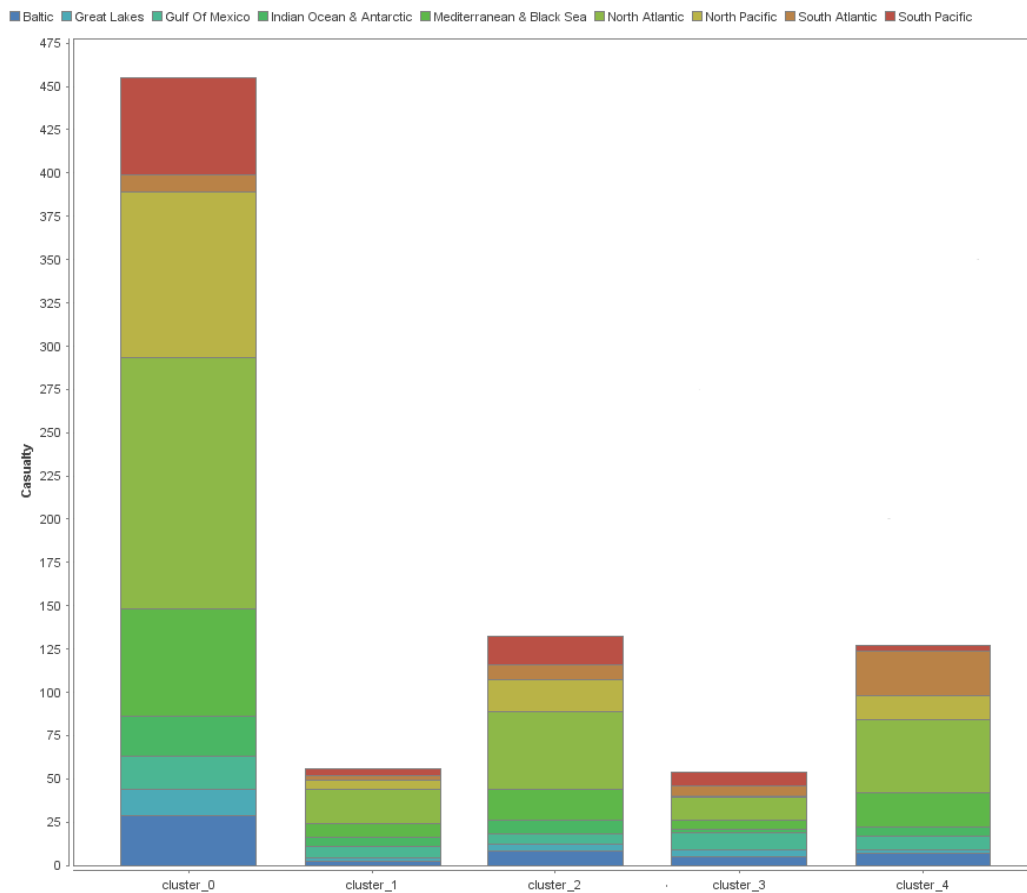
Σχήμα 46: Μεικτές μπάρες Clusters - DWT



Σχήμα 47: Μεικτές μπάρες Clusters – Age of Ship



Σχήμα 48: Μεικτές μπάρες Clusters – Flag



Σχήμα 49: Μεικτές μπάρες Clusters – Zone

Θεωρήθηκε ότι κάθε κλάση αντιπροσωπεύει έναν ξεχωριστό τύπο ατυχήματος, αφού όλες οι κλάσεις περιλαμβάνουν κατ' ελάχιστο περίπου 60% σημεία που ομοιάζουν ως προς τη συγκεκριμένη μεταβλητή, με τη δεύτερη σε ποσοστό τιμή να είναι περίπου υποτριπλάσια της κυρίαρχης. Ειδικά στην κλάση 2, τα Wrecked/Stranded αποτελούν το μοναδικό τύπο ατυχήματος. Επομένως, ο τύπος ατυχήματος και κατ' επέκταση η κλάση θα αποτελέσουν την έκφραση του αποτελέσματος και η διερεύνηση των προβληματικών χώρων-αιτιών θα γίνει στις τιμές των υπόλοιπων μεταβλητών.

Αρχικά, το χρώμα της σημαίας δείχνει να είναι παράγοντας που δε μπορεί να συνδεθεί με τον τύπο του ατυχήματος, εφόσον και στις 5 κλάσεις το ποσοστό σε λευκές σημαίες είναι μεγαλύτερο του 90%. Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί από το ότι η συντριπτική πλειοψηφία, δηλαδή το 89,54%, των επιθεωρήσεων παγκοσμίως αποδίδουν λευκές σημαίες πλεύσης[50]. Αυτό αναπόφευκτα οδηγεί στο να φέρει λευκή σημαία η πλειοψηφία του παγκόσμιου στόλου και κατ' επέκταση κάθε υποκατηγορία πλοίων, άρα και των πλοίων που έχουν πάθει ατυχήματα. Επομένως, το χρώμα της σημαίας δε μπορεί να συνεισφέρει στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

Επιπλέον, όσον αφορά τη γεωγραφική ζώνη πλεύσης, παρατηρείται μια ισοκατανομή σε όλες τις κλάσεις και για όλες τις τιμές, με εξαίρεση ίσως την κλάση 3 και τα ατυχήματα Contact, όπου η ζώνη Gulf of Mexico έχει αυξημένο ποσοστό σε σχέση με τις υπόλοιπες κλάσεις. Αυτό θα μπορούσε να αποτελέσει χρήσιμη απόδειξη των ρηχών νερών της

συγκεκριμένης γεωγραφικής ζώνης[53]. Ωστόσο, συνολικά παρατηρείται μια ισορροπία στην κατανομή των ζωνών μέσα σε κάθε κλάση, με τη North Atlantic Ocean να αποτελεί τη συχνότερη γεωγραφική ζώνη, ανεξαρτήτως τύπου ατυχήματος, με μέση τιμή 31,76% και τη Mediterranean & Black Sea να ακολουθεί με μέση τιμή 13,31%. Επομένως, μπορεί να ειπωθεί με σχετική ασφάλεια ότι ο Βόρειος Ατλαντικός Ωκεανός συνολικά προκύπτει ως η πιο επίφοβη ζώνη πλεύσης, με σχεδόν το ένα τρίτο των συνολικών ατυχημάτων να τον υποδεικνύουν, ανάμεσα σε άλλες 8 γεωγραφικές ζώνες.

Τα κυρίαρχα ποσοστά του DWT, σε συνδυασμό με τα δεύτερα τη τάξει ποσοστά, τα οποία δεύτερα, στις 4 από τις 5 κλάσεις, είναι τουλάχιστον υποδιπλάσια των κυρίαρχων, φαίνεται να μπορούν να προσδιορίσουν αποτελεσματικά προβληματικούς χώρους δημιουργίας ατυχημάτων. Όσον αφορά την κλάση 0, δηλαδή τα ατυχήματα Hull Mch. Damage, παρατηρείται ότι το 84,18% των ατυχημάτων αφορούν πλοία μεταξύ 0 και 20.000 τόνων. Όσον αφορά την κλάση 1, δηλαδή τα ατυχήματα Fire/Explosion, το 78,57% των ατυχημάτων αφορούν πλοία μεταξύ 10.000 και 30.000 τόνων. Όσον αφορά την κλάση 2, δηλαδή τα ατυχήματα Wrecked/Stranded, το 74,24% των ατυχημάτων αφορούν πλοία μεταξύ 0 και 20.000 τόνων DWT. Όσον αφορά την κλάση 3, δηλαδή τα ατυχήματα Contact, παρατηρείται ότι το 62,96% των ατυχημάτων αφορούν πλοία μεταξύ 30.000 και 50.000 τόνων και το 33,33% πλοία μεταξύ 10.000 και 20.000 τόνων. Τέλος, όσον αφορά την κλάση 4, δηλαδή τα ατυχήματα Collision, παρατηρείται ότι το 69,29% των ατυχημάτων αφορούν πλοία μεταξύ 10.000 και 20.000 τόνων, με ένα 18,90% να ακολουθεί για πλοία 40.000 με 50.000 τόνους νεκρού βάρους.

Τέλος, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα Παράλληλων Συντεταγμένων αλλά και στη μπάρα οπτικοποίησης Age-Casualty Type, οι διαφορετικές κυρίαρχες ηλικιακές τιμές μέσα στις κλάσεις είναι 2. Συγκεκριμένα, στις κλάσεις 0,1 και 4 κυριαρχεί η τιμή 0-4 και στις κλάσεις 2 και 3 η τιμή 5-9. Αξίζει να σημειωθεί ότι και στις 5 περιπτώσεις οι ποσοστιαίες διαφορές των 2 τιμών είναι μικρές. Επίσης, σημαντικό ποσοστό κάθε κλάσης κατέχουν τα πλοία ηλικίας 10-14, με αποκορύφωμα την κλάση 2, όπου φτάνουν το 21,21%. Για αποφυγή επανάληψης των ποσοστών, μιας και αναφέρθηκαν λεπτομερώς παραπάνω, αξίζει να σημειωθεί ότι για κάθε κλάση, και (βάσει παραδοχής) για κάθε τύπο ατυχήματος, το διάστημα ηλικίας από 0 έως 14 έτη περιλαμβάνει την εμφατική πλειοψηφία των ατυχημάτων: στην κλάση 0 το 72,75%, στην 1 το 78,57%, στη 2 το 77,27%, στην 3 το 88,89% και στην 4 το 86,61%. Επομένως, συνολικά, τα πλοία από 0 έως 14 ετών υποδεικνύονται βάσει της εξόρυξης σαν πιο επιρρεπή σε ατυχήματα.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα κενή.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**

Πολλές σημαντικές πληροφορίες, που μπορούν να παίξουν καθοριστικό ρόλο σε ένα ατύχημα, όπως ο καιρός την ώρα του ατυχήματος, η κατάσταση της θάλασσας, ο ανθρώπινος παράγοντας κ.α., απουσίαζαν εντελώς από το σετ δεδομένων που εξήχθη από τη Seaweb για την περάτωση της παρούσας διπλωματικής. Διαθέσιμοι ήταν μόνο μερικοί από τους παράγοντες που συμβάλλουν στην ύπαρξη κάποιου ατυχήματος, με αποτέλεσμα να μη μπορούν να προσδιοριστούν με ακρίβεια οι συνθήκες που οδηγούν σε ατύχημα, καθώς οι πληροφορίες ήταν ελλιπείς.

Ωστόσο, παρά τις ελλείψεις που παρουσίαζαν τα δεδομένα, μέσω της μεθόδου στατιστικού ελέγχου  $\chi^2$ , κατέστη δυνατός ο προσδιορισμός, με ικανοποιητική ακρίβεια, τεσσάρων παραγόντων οι οποίοι επηρεάζουν τον τύπο ατυχήματος. Κατόπιν, εξήχθησαν για κάθε ένα τύπο ατυχήματος οι κατανομές ατυχημάτων συναρτήσει αυτών των τεσσάρων παραγόντων, καθώς και οι συχνότητες ανά έτος. Για τον υπολογισμό των συχνοτήτων χρησιμοποιήθηκαν τα καταγεγραμμένα ατυχήματα της βάσης δεδομένων Seaweb και το Fleet at Risk από την εταιρεία Clarkson. Στο πλαίσιο της στατιστικής ανάλυσης και διαθέτοντας τις συνολικές κατανομές των ατυχημάτων και για τα 5 διαφορετικά είδη ατυχήματος που μελετήθηκαν, προσδιορίστηκαν οι επιδράσεις των παραγόντων που διαπιστώθηκε ότι επηρεάζουν.

Συγκεκριμένα η συχνότητα ύπαρξης ατυχημάτων **Collision** αυξάνεται σημαντικά όταν το πλοίο είναι μεταξύ 0 και 20.000 τόνων DWT, έχει σημαία Παναμά, πλέει στις ζώνες "China Japan & Korea ή Br. Isles N. Sea E.Chnl Biscay" και ηλικιακά είναι μέχρι 12 ετών.

Η συχνότητα ύπαρξης ατυχημάτων **Contact** αυξάνεται σημαντικά όταν το πλοίο είναι μεταξύ 0 και 20.000 τόνων DWT, έχει σημαία Λιβερίας, Μάλτας, Νήσων Μάρσαλ ή Παναμά, πλέει στη ζώνη "Br. Isles N. Sea E.Chnl Biscay" και ηλικιακά είναι μέχρι 8 ετών.

Η συχνότητα ύπαρξης ατυχημάτων **Wrecked/Stranded** αυξάνεται σημαντικά όταν το πλοίο είναι μεταξύ 0 και 20.000 τόνων DWT, έχει σημαία Παναμά, Ολλανδίας ή Νορβηγίας, πλέει στη ζώνη "Br. Isles N. Sea E.Chnl Biscay" ή "South China & East Indies" και ηλικιακά είναι μέχρι 13 ετών.

Η συχνότητα ύπαρξης ατυχημάτων **Hull/Mchy. Damage** αυξάνεται σημαντικά όταν το πλοίο είναι μεταξύ 0 και 20.000 τόνων DWT, έχει σημαία Μάλτας ή Παναμά, πλέει στη ζώνη "Br. Isles N. Sea E.Chnl Biscay" και ηλικιακά είναι μέχρι 15 ετών.

Η συχνότητα ύπαρξης ατυχημάτων **Fire/Explosion** αυξάνεται σημαντικά όταν το πλοίο είναι μεταξύ 0 και 20.000 τόνων DWT, έχει σημαία Παναμά, πλέει στη ζώνη "Br. Isles N. Sea E.Chnl Biscay", "Baltic", "E.Mediterranean & Black Sea" ή "China Japan & Korea" και ηλικιακά είναι μέχρι 11 ετών.

Στην συνέχεια, υπολογίστηκαν οι συχνότητες ατυχημάτων, ομαδοποιώντας τα ατυχήματα σε ομάδες βάρους και ομάδες ηλικίας. Είναι φανερό, ότι συνολικά πιο πιθανά να εμφανίσουν ατύχημα είναι τα πλοία βάρους από 0 έως 10.000 τόνων από άποψη DWT, και από άποψη ηλικίας τα πλοία 0-4 ετών. Παρατηρείται επίσης ότι ο στόλος ακολουθεί μία γνησίως αύξουσα καμπύλη. Όπως φαίνεται και στις 2 ομάδες διαγραμμάτων, οι συχνότητες των ατυχημάτων παρουσιάζουν σημαντική αύξηση στο διάστημα 1997 με 2009, ενώ αρχίζουν και φθίνουν απο το 2009 και μετά. Άρα υποδεικνύεται πιθανώς ότι οι μεταφορές με πλοία χημικών προϊόντων γίνονται ολοένα και πιο ασφαλείς μετά το έτος 2009.

Στο τελευταίο κομμάτι της μελέτης αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος με χρήση τεχνικών εξόρυξης δεδομένων (data mining). Συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος που εκπαιδεύτηκε δημιουργεί συστάδες με περιπτώσεις ατυχημάτων (Clusters). Μέσα σε κάθε cluster τα στοιχεία παρουσιάζουν ομοιότητα μεταξύ τους και είναι ανόμοια με στοιχεία που ανήκουν στις άλλες κλάσεις. Η αξιολόγηση αυτής της ομοιότητας και κατ' επέκταση η συσταδοποίηση των ατυχημάτων έγινε με γνώμονα τη μη-επιβλεπόμενη (άρα αυτόματη και μέσω του λογισμικού) μέτρηση κάποιων χαρακτηριστικών αποστάσεων από τα κέντρα των κλάσεων (centroids).

Με τη χρήση του αλγόριθμου k-medoids δημιουργήθηκαν 5 διαφορετικές κλάσεις που περιέχουν περιπτώσεις ατυχημάτων. Συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος χρησιμοποίησε 824 ατυχήματα, 4 μεταβλητές-αιτίες (DWT, Age, Zone, Flag) και μια μεταβλητή-αποτέλεσμα (Casualty Type), τις ίδιες που χρησιμοποιήθηκαν και στη στατιστική ανάλυση. Ωστόσο, έγινε μετασχηματισμός των δεδομένων και τροποποίηση των τιμών του Flag και του Zone, αφού οι εκατοντάδες συνολικά διαφορετικές τιμές δυσκόλευαν το έργο του αλγόριθμου, με αποτέλεσμα να μη μεγιστοποιείται η ομοιότητα μεταξύ των στοιχείων κάθε κλάσης. Έτσι, υπήρχε εμφανής δυσκολία στο να δημιουργηθούν κανόνες που να περιγράφουν τα αποτελέσματα. Παρατηρήθηκε ότι, μετά το μετασχηματισμό των δεδομένων, κάθε κλάση εμφάνισε επαρκή περιεκτικότητα σε έναν ξεχωριστό τύπο ατυχήματος, οπότε σε κάθε κλάση αποδόθηκε ένα Casualty Type σαν "ετικέτα", με σκοπό τη δημιουργία προτύπων. Άξιο αναφοράς είναι το ότι, μέσω του ελέγχου των ατυχημάτων 1 προς 1, διαπιστώθηκε ότι τα 692 από τα 824 ατυχήματα αποδόθηκαν στην κλάση που περιγράφει όντως τον τύπο ατυχήματος που τα αφορά. Η ομαδοποίηση, λοιπόν, μέσω της μη-επιβλεπόμενης εξόρυξης ήταν επιτυχής κατά 83,98%. Λόγω των ελλείψεων που παρουσίαζαν τα δεδομένα δεν ήταν δυνατόν να επεκτείνουμε περαιτέρω την ακρίβεια του αλγόριθμου. Οι κανόνες που περιγράφουν την εξόρυξη που πραγματοποιήθηκε είναι οι ακόλουθοι:

Η σημαία δεν αποτελεί παράγοντα που επιδρά στον τύπο ατυχήματος βάσει του μετασχηματισμού που έγινε, λόγω της κυριαρχίας των λευκών σημαίων στον παγκόσμιο στόλο.

Η πιο επίφοβη ζώνη ατυχήματος συνολικά είναι ο Βόρειος Ατλαντικός Ωκεανός και ακολουθεί η Μεσόγειος μαζί με τη Μαύρη Θάλασσα. Παρουσιάζουν μια ποσοστιαία σχεδόν ισοκατανομή ανά τις κλάσεις, οπότε, βάσει εξόρυξης, αποτελούν τις πιο επικίνδυνες ζώνες πλεύσης ανεξαρτήτως τύπου ατυχήματος. Το αποτέλεσμα αυτό δε διαψεύδεται από τα

παραπάνω αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης, καθώς η συχνότερη συνολικά ζώνη “Br. Isles N. Sea E.Chnl Biscay” ανήκει στο Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό.

Οι επιρρεπείς ηλικίες συνολικά αφορούν πλοία από 0 μέχρι 14 ετών, κάτι που επίσης συμφωνεί συνολικά με την παραπάνω στατιστική ανάλυση.

Η συχνότητα ύπαρξης ατυχημάτων **Collision** αυξάνεται σημαντικά όταν το πλοίο είναι μεταξύ 10.000 και 20.000 τόνων DWT.

Η συχνότητα ύπαρξης ατυχημάτων **Contact** αυξάνεται σημαντικά όταν το πλοίο είναι μεταξύ 30.000 και 40.000 τόνων DWT.

Η συχνότητα ύπαρξης ατυχημάτων **Wrecked/Stranded** αυξάνεται σημαντικά όταν το πλοίο είναι μεταξύ 0 και 20.000 τόνων DWT.

Η συχνότητα ύπαρξης ατυχημάτων **Hull/Mchy. Damage** αυξάνεται σημαντικά όταν το πλοίο είναι μεταξύ 0 και 20.000 τόνων DWT.

Η συχνότητα ύπαρξης ατυχημάτων **Fire/Explosion** αυξάνεται σημαντικά όταν το πλοίο είναι μεταξύ 10.000 και 30.000 τόνων DWT.

Συμπερασματικά, οι παραπάνω κανόνες περιγραφής της εξόρυξης, διαφωνούν σημαντικά σε κάποιες περιπτώσεις με τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης, όπως π.χ. στα ατυχήματα Contact και Fire/Explosion. Παρολαυτά, η μη-επιβλεπόμενη εξόρυξη αξιολογείται, συνολικά και για όλες τις μεταβλητές, ως συγκλίνουσα με τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε. Θα ήταν ασφαλές να ειπωθεί ότι η μέθοδος εξόρυξης που περιεγράφηκε και χρησιμοποιήθηκε έχει πολύ μεγάλα περιθώρια βελτίωσης. Συγκεκριμένα, με 824 ατυχήματα ταξινομήσε σωστά σε κλάσεις περίπου το 84% των ατυχημάτων. Αν η ίδια μελέτη επαναληφθεί για πολύ μεγαλύτερο αριθμό ατυχημάτων και ίσως με χρήση κάποιας βάσης δεδομένων που παρέχει περαιτέρω και αναλυτικότερα δεδομένα για το κάθε ατύχημα, όπως ο καιρός όταν έγινε το ατύχημα, η κατάσταση φόρτωσης του πλοίου και άλλα, είναι δυνατόν να δημιουργηθεί ένας αλγόριθμος με πολύ μεγάλη ακρίβεια στη συσταδοποίηση, που θα επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων ως προς τις αιτίες που οδηγούν σε συγκεκριμένους τύπους ατυχημάτων.



Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα κενή.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] Amendments to the Code for the Investigation of Marine Casualties and Incidents resolution A.849 (20)
- [2] <http://www.chemicaltankerguide.com/safety>
- [3] [https://en.wikipedia.org/wiki/Chemical\\_tanker](https://en.wikipedia.org/wiki/Chemical_tanker)
- [4] Σκούφας Κωνσταντίνος, "Η μεταλλική κατασκευή των πλοίων μεταφοράς χημικών προϊόντων", 2015
- [5] <https://www.linkedin.com/pulse/classification-chemical-tankers-zeeshan-fareed-mni>
- [6] IBC Code, Chapter 2, 2.1 General
- [7] <http://www.scrigroup.com>
- [8] Werner M.R., "Ship Design and Construction Volume 2", SNAME New York, 2003, Edited by Thomas Lamb
- [9] Murphy H., Tenold S., "Strategy and Hegemony in Chemical Tanker Shipping, 1960-1985", Discussion Paper, Norwegian School of Economics and Business Administration, January 2007, pp. 3-5.
- [10] Wijnołst N., Wergeland T., "Shipping Innovation", Amsterdam, January 2009, pp. 265.
- [11] Tanker Safety Guide Chemicals, International Chamber of Shipping, Third edition, London, 2002, pp. xxi
- [12] [http://www.spillresponse.nl/index.php/Chemical\\_tanker](http://www.spillresponse.nl/index.php/Chemical_tanker).
- [13] Seol-Hui Kang, "Big and Beautiful – The world's largest chemical tanker – BOW PIONEER", ODFJELL Quarterly Magazine, July 2013.
- [14] <http://www.odfjell.com>
- [15] [http://www.marinewiki.org/index.php?title=Chemical\\_Tankers](http://www.marinewiki.org/index.php?title=Chemical_Tankers)
- [16] International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk (IBC Code) as amended by MEPC.225(64) and MSC.340(91)- International Maritime Organization, London, June 2014
- [17] <http://www.adv-polymer.com>
- [18] <http://www.pfri.uniri.hr>
- [19] Tanker Safety Guide Chemicals, International Chamber of Shipping, Third edition, London, 2002, Appendix M.
- [20] C.H. Walker, R.M. Sibly, S.P. Hopkin, D.B. Peakall, "Principles of ecotoxicology", 2005
- [21] G. W. Bryan, M. Waldichuk, R. J. Pentreath and Ann Darracott, "Bioaccumulation of Marine Pollutants [and Discussion], by Philosophical Transactions of the Royal Society of London", Series B, Biological Sciences.
- [22] <http://www.clarksons.com>
- [23] Unctad, Review of maritime transport, 2014

- [24] <https://www.researchgate.net/figure/The-SIS-zones>
- [25] <http://www2.stat-athens.aueb.gr>
- [26] Bagdonavicius V., Kruopis J., Nikulin M.S., “Non-parametric tests for complete data”, ISTE & WILEY: London & Hoboken, 2011
- [27] <https://eclass.teiath>
- [28] Konstantinos Giziakis, Ernestini Bardi-Giziaki, “Assessing the risk of pollution from ship accidents”, Disaster Prevention and Management: An International Journal, Vol. 11 Issue: 2, pp.109-114, (2002)
- [29] Eliopoulou E., Papanikolaou A., “Casualty Analysis of Large Tankers”, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 12, 240-250, Springer Publishers, 2007
- [30] Eliopoulou E., Hamann R., Papanikolaou A., Golyshev P., “Casualty Analysis of Cellular Type Container Ships”, Proc. 5<sup>th</sup> International Maritime Conference on Design for Safety, November 25-27, 2013, Shanghai
- [31] Papanikolaou A., Bitha K., Eliopoulou E., Ventikos N., “Statistical Analysis of Ship Accidents Occurred in the period 1990-2012 and Assessment of Safety Level of Ship Types”, 2<sup>nd</sup> International Conference on Maritime Technology and Engineering (MARTECH 2014), publ. CRC Press/Balkema –Taylor & FrancisGroup, 15-17 October 2014, IST Lisbon
- [32] Ηλιοπούλου Ε, 2006 “Μεθοδολογία ανάπτυξης νέων κανονισμών ευστάθειας πλοίων κατόπιν βλάβης και επιδράσεις στη μελέτη και σχεδίαση”, Διδακτορική διατριβή, Εργαστήριο μελέτης πλοίου, ΕΜΠ
- [33] FSA - Liquefied Natural Gas (LNG) Carriers, Details of the Formal Safety Assessment, Submitted by Denmark, 2007
- [34] Ελένη Γολέμη, “Κρυπτογραφία & Εξόρυξη Δεδομένων”, 2010
- [35] Fayyad U., “From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases”, 1996
- [36] [https://www.researchgate.net/figure/Knowledge-discovery-process\\_fig3\\_258386628](https://www.researchgate.net/figure/Knowledge-discovery-process_fig3_258386628)
- [37] Παγουρόπουλος Απόστολος, “Data Mining στη Χρηματοοικονομική Ανάλυση”, Πάτρα, 17/10/2006
- [38] Τζιραλής Γεώργιος, “Αλγόριθμοι Εξόρυξης Πληροφορίας, Διάλεξη 4, Απεικόνιση Γνώσης, Αξιοπιστία και Αποτίμηση”
- [39] Han, J. & Kamber, San Francisco, “Data Mining Concepts and Techniques”, 2001
- [40] <http://www.stats.stackexchange.com>
- [41] <http://www.siggraph.org>
- [42] Μιχάλης Βαζιργιάννης, Μαρία Χαλκίδη, “Εξόρυξη Γνώσης από Βάσεις Δεδομένων και τον Παγκόσμιο Ιστό”, Εκδ. Gutenberg.
- [43] ΓΙΑΝΝΗΣ ΚΟΚΚΙΝΟΣ, “ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΓΝΩΣΗΣ ΑΠΟ ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΕΧΝΗΤΑ ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΕΣ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ”, 2011

- [44] ΝΤΑΛΛΑ ΜΙΡΕΛΑ, “ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥ ΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΗ ΣΧΕΣΙΑΚΗ ΕΞΟΡΥΞΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ”, 2009
- [45] Everitt Brian, “Cluster analysis”, Chichester, West Sussex, U.K: Wiley, 2011
- [46] X. Song, M. Wu, C. Jermaine, “Conditional Anomaly Detection in Proceedings IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering”, 2007
- [47] Qiankun Zhao, Sourav S. Bhowmick, “Association Rule Mining: A Survey”, 2003
- [48] Ernestos Tzannatos, Dimitris Kokotos, “Analysis of accidents in Greek shipping during the pre- and post-ISM period”, 2009
- [49] Dimitris Kokotos, Dionisios Linardatos, “An application of data mining tools for the study of shipping safety in restricted waters”, 2010
- [50] <http://www.parismou.org>
- [51] Kaufman, L. and Rousseeuw, P.J., “Clustering by means of Medoids, in Statistical Data Analysis Based on the  $L_1$ -Norm and Related Methods”, 1987
- [52] Kaufman and Rousseeuw, “Clustering in an Object-Oriented Environment”, 1990
- [53] “General Facts about the Gulf of Mexico”, epa.gov, Retrieved December 27, 2006