

ΕΝΘΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ



ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΟΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΟΠΛΟΙΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπων :

Νικόλαος Π. Βεντίκος, *Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.*

Τριμελής επιτροπή :

Γεώργιος Ζαραφονίτης, *Καθηγητής Ε.Μ.Π.*

Αλέξανδρος Γκίνης, *Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.*

ΑΘΗΝΑ 2017
ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΛΩΝΗΣ
nm11051

Copyright © Βασίλειος Δ.Λώνης, 2017

Με επιφύλαξη παντός 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 σ' αυτό το έγγραφο, 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 Θαλασσιών 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 .

Επίσης, ευχαριστώ πολύ τον επιβλέπων κ. Σωτήραλη Παναγιώτη για την πολύτιμη βοήθεια και κατανόηση που μου παρείχε.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που ήταν δίπλα μου όλα αυτά τα χρόνια, για την υπομονή και τη στήριξη τους.

Βασίλειος Δ. Λώνης
Αθήνα , Οκτώβριος 2017

Περιεχόμενα

Ευρετήριο Εικόνων	7
Ευρετήριο Πινάκων	9
Εισαγωγή.....	11
Βιβλιογραφική επισκόπηση.....	12
Κεφάλαιο 1: Δεξαμενόπλοια.....	15
1.1 Εισαγωγή.....	15
1.2 Θαλάσσιες Μεταφορές - Αργό Πετρέλαιο	16
1.3 Κίνδυνοι μεταφοράς – Ρύπανση	16
1.4 Ιστορικό ατυχημάτων - Νομοθεσία	20
1.5 Διαμόρφωση του χώρου κυτών.....	22
Κεφάλαιο 2: Στατιστικές Μέθοδοι-Μαθηματικό Υπόβαθρο.....	27
2.1 Εισαγωγή.....	27
2.2 Κατανομές και Ιστόγραμμα.....	28
2.2.1 Πιθανότητα - Συχνότητες.....	28
2.2.2 Το Ιστόγραμμα - Κατανομές Τυχαίων Μεταβλητών	30
2.3 Περιγραφικά Μέτρα	34
2.3.1 Μέτρα θέσης.....	35
2.3.2 Μέτρο μεταβλητότητας	36
2.4 Μη παραμετρικές μέθοδοι.....	37
2.4.1 χ^2 – Statistic Test	37
2.4.2 Εφαρμογή του χ^2 στα δεδομένα.	39
Κεφάλαιο 3: Βάση δεδομένων – Παρούσα έρευνα.....	41
3.1 Εισαγωγή.....	41
3.2 Προβλήματα	42
3.3 Η βάση δεδομένων μας	43
3.4 Πληρότητα δεδομένων	44
3.5 Προβλήματα και τρόποι αντιμετώπισης	46
Κεφάλαιο 4: Fleet at risk	47
4.1 Εισαγωγή.....	47
4.2 Περιγραφή.....	48
4.3 Αποτελέσματα της ανάλυσης.....	57
Κεφάλαιο 5: Casualties.....	69
5.1 Εισαγωγή.....	69
5.2 Περιγραφή.....	70

5.3 Αποτελέσματα	79
Κεφάλαιο 6: Πιθανοθεωρητική μελέτη.....	88
6.1 Εισαγωγή.....	88
6.2 Εφαρμογή της μεθόδου.....	92
Συμπεράσματα.....	99
Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	100
Βιβλιογραφία.....	101

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Σχέδιο γενικής διάταξης ενός δεξαμενόπλοιου.....	15
Εικόνα 2: Οι κύριοι οδοί διακίνησης πετρελαίου στον κόσμο (Δασενάκης, 2015)	17
Εικόνα 3: Θέσεις σημαντικών πετρελαιοκηλίδων (σημειώνονται με κόκκινη τελεία) (Δασενάκης, 2015)	18
Εικόνα 4: Η πορεία του διαρρέοντος πετρελαίου, μέσω των φυσικών διεργασιών. (Δασενάκης, 2015)	18
Εικόνα 5: Επιπτώσεις της θαλάσσιας ρύπανσης. (Δασενάκης, 2015)	20
Εικόνα 6: Τυπικές διατάξεις γάστρας δεξαμενόπλοιων. (Διαμαντής, 2010)	25
Εικόνα 7: Διάγραμμα αριθμού πλοίων DH,SH και ατυχημάτων διαρροής φορτίου, ανά έτος κτήσεως.....	26
Εικόνα 8: Αριθμός παρτίδων σε δείγμα 120 παραγγελιών ενός προϊόντος.	29
Εικόνα 9:Αριθμός παρτίδων- Συχνότητα. Ιστόγραμμα του προβλήματος.	31
Εικόνα 10: Γραφική παράσταση της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας.....	32
Εικόνα 11: Μηχανικό ανάλογο της μέσης τιμής.	35
Εικόνα 12: Μηχανικό ανάλογο, δύο δειγμάτων ίσου πλήθους, με ίδια μέση τιμή και διαφορετική μεταβλητότητα.	36
Εικόνα 13: Κατανομή του στόλου ανά έτος κτήσεως.	51
Εικόνα 14: Κατανομή των Ship Type Group ανά περίοδο.....	52
Εικόνα 15: Κατανομή των Ship Type Groups ανά έτος κτήσεως.	54
Εικόνα 16: Αθροιστική Συχνότητα των Ship Type Group ανά έτος κτήσεως.....	55
Εικόνα 17:Χώρα κατασκευής 1945-2015, 2010-2015.	56
Εικόνα 18:Μέση ηλικία του στόλου και κατανομή ηλικιακών ομάδων ανά έτος κτήσεως.....	58
Εικόνα 19: Μέση ηλικία του στόλου και των Ship Type Group ανά έτος κτήσεως.....	59
Εικόνα 20: :Μέση ηλικία του στόλου και κατανομή ηλικιακών ομάδων ανά έτος κτήσεως 1985-2017.	60
Εικόνα 21: Μέση ηλικία του στόλου και των Ship Type Group ανά έτος κτήσεως 1985-2017.....	61
Εικόνα 22: Μέση διάρκεια ζωής του στόλου για την περίοδο 1945-2015.	66
Εικόνα 23: Κατανομή των πλοίων ανά τον αριθμό των φορών που είχαν ατύχημα.....	73
Εικόνα 24: Κατανομή του αριθμού των ατυχημάτων ανά της φορές που έδρασαν σ' ένα πλοίο.....	74
Εικόνα 25: Κατανομή των ατυχημάτων ανά σημαία 1945-2015, 1985-2015.	75
Εικόνα 26: Κατανομή των ατυχημάτων ανά περιοχή 1945-2015, 1985-2015.	77

Εικόνα 27: Κατανομή των ατυχημάτων που οδήγησαν σε ρύπανση 1945-2015, 1985-2015.	78
Εικόνα 28: Το ποσοστό των Casualty Types για τις περιόδους 1945-2015, 1985-2015.	79
Εικόνα 29: Αριθμός ατυχημάτων των Casualty Type ανά έτος κτήσεως.	80
Εικόνα 30: Αθροιστική συχνότητα των Casualty Type ανά έτος κτήσεως.	82
Εικόνα 31: Κατανομή των ατυχημάτων ανά Ship Type Group.	83
Εικόνα 32: Ποσοστό πρώτου ατυχήματος ανά Casualty Type.	85
Εικόνα 33: Κατανομή πρώτου σημαντικού ατυχήματος ανά Casualty Type.	85
Εικόνα 34: Σχηματική αναπαράσταση εφαρμογής της μεθοδολογίας.	90
Εικόνα 35: Σχετική συχνότητα των ai' ανά έτος ηλικίας πλοίου, 1945-2015.	93
Εικόνα 36: Μεταβολή των p_0 και p_1' στη διάρκεια ζωής του πλοίου, 1945-2015.	94
Εικόνα 37: Μεταβολή των p_1 , p_2' και P_1 , P_2' στη διάρκεια ζωής του πλοίου, 1945-2015.	94
Εικόνα 38: Μεταβολή των p_2 , p_3' και P_2 , P_3' στη διάρκεια ζωής του πλοίου, 1945-2015.	94
Εικόνα 39: Σχηματική αναπαράσταση των pi , $pi + 1'$, 1945-2015.	95
Εικόνα 40: Σχηματική αναπαράσταση των Pi , $Pi + 1'$, 1945-2015.	95
Εικόνα 41: Σχηματική αναπαράσταση των pi , $pi + 1'$, 1985-2015.	96
Εικόνα 42: Σχηματική αναπαράσταση των Pi , $Pi + 1'$, 1985-2015.	96

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Πίνακας συχνοτήτων παραδείγματος.....	30
Πίνακας 2: Τυπικό παράδειγμα εξαγωγής δεδομένων.	44
Πίνακας 3: Πληρότητα στοιχείων των δεδομένων μας.	44
Πίνακας 4: Κατανομή των δεδομένων ανά έτος κτήσεως.	45
Πίνακας 5: Κατηγορίες μεγέθους δεξαμενόπλοιων.....	48
Πίνακας 6: Κατανομή δεδομένων σε είδος φορτίου και μέγεθος σκάφους (1945-2015).	48
Πίνακας 7: Κατανομή δεδομένων σε είδος φορτίου και μέγεθος σκάφους (1945-1984).	49
Πίνακας 8: Κατανομή δεδομένων σε είδος φορτίου και μέγεθος σκάφους (1985-2015).	49
Πίνακας 9: Κατανομή των πλοίων Built, Retired ανά έτος κατασκευής..	50
Πίνακας 10: Στατιστικά στοιχεία της κατανομής του πίνακα 9.	50
Πίνακας 11: Κατανομή των πλοίων που συνθέτουν τον στόλο το 2017...62	
Πίνακας 12: Αθροιστική κατανομή του στόλου από το 2017.....62	
Πίνακας 13: Το ποσοστό το πλοίων που επιβίωσαν ως το 2017.	63
Πίνακας 14: Δεδομένα της διάρκειας ζωής του στόλου.	64
Πίνακας 15: Κατανομή της διάρκειας ζωής ανά Ship Type και Ship Type Group.	67
Πίνακας 16: Κατανομή των πλοίων που χρησιμοποιήθηκαν στον πίνακα 15.	68
Πίνακας 17: Κατανομή του αριθμού των ατυχημάτων ανά έτος κτήσεως.	70
Πίνακας 18: Στατιστικά στοιχεία του πίνακα 17.....	71
Πίνακας 19: Κατανομή πλοίων συναρτήσεως.....	71
Πίνακας 20: Κατανομή πλοίων συναρτήσεως.....	71
Πίνακας 21: Αθροιστική κατανομή των πλοίων και των ατυχημάτων συναρτήσεως των φορών που σ' ένα πλοίο συνέβη ένα ατύχημα.....	72
Πίνακας 22: Κατανομή του ποσοστού των ατυχημάτων της σημαίας ανά Casualty Type 1945-2015.	76
Πίνακας 23: Κατανομή του ποσοστού των ατυχημάτων της σημαίας ανά Casualty Type 1985-2015.	76
Πίνακας 24: Κατανομή του ποσοστού των ατυχημάτων της περιοχής ανά Casualty Type 1945-2015.	77
Πίνακας 25: Κατανομή του ποσοστού των ατυχημάτων της περιοχής ανά Casualty Type 1985-2015.	77
Πίνακας 26: Κατανομή του αριθμού των ατυχημάτων που οδήγησαν σε ρύπανση ανά Casualty Type 1945-2015.....	78
Πίνακας 27: Κατανομή του αριθμού των ατυχημάτων που οδήγησαν σε ρύπανση ανά Casualty Type 1985-2015.....	78
Πίνακας 28: Κατανομή των Casualty Type ανά έτος κτήσεως.	81
Πίνακας 29: Μέσος όρος ατυχημάτων ανά έτος ανά Casualty Type για τις διάφορες περιόδους.	83
Πίνακας 30: Κατανομή των Casualty Types ανά Ship Type Group για την περίοδο 1945-2015.	84

Πίνακας 31: Κατανομή των Casualty Types ανά Ship Type Group για την περίοδο 1985-2015.	84
Πίνακας 32: Μέσος όρος πρώτου ατυχήματος ανά έτος ανά Casualty Type για τις διάφορες περιόδους	85
Πίνακας 33: Μέσος όρος πρώτου σοβαρού ατυχήματος ανά έτος ανά Casualty Type για τις διάφορες περιόδους	85
Πίνακας 34: Κατανομή του πρώτου ατυχήματος ανά έτος κτήσεως ανά Casualty Type.	86
Πίνακας 35: Κατανομή του πρώτου σοβαρού ατυχήματος ανά έτος κτήσεως ανά Casualty Type.....	87
Πίνακας 36: Κατανομή των <i>αι'</i> ανά έτος ηλικίας πλοίου, 1945-2015.	92
Πίνακας 37: Κατανομή της ολικής πιθανότητας για την περίοδο 1985-2015.	97
Πίνακας 38: Κατανομή της πιθανότητας του αριθμού του ατυχήματος συναρτήσει του είδους 1945-2015	98
Πίνακας 39: Κατανομή της πιθανότητας του αριθμού του ατυχήματος συναρτήσει του είδους, 1985-2015	98

Εισαγωγή

Είναι γνωστό πως τα ναυτικά ατυχήματα έχουν γίνει αφορμή πολλών ερευνών, λόγω της πολυπλοκότητάς τους. Το ενδιαφέρον στρέφεται κυρίως σε πλοία τα οποία μεταφέρουν αργό πετρέλαιο, λόγω της δυσκολίας με την οποία αυτό ανακτάται από το θαλάσσιο περιβάλλον, καθώς και το μέγεθος της ρύπανσης που προκαλείται. Πιο συγκεκριμένα η ρύπανση των θαλάσσιων υδάτων επηρεάζει άμεσα τους θαλάσσιους οργανισμούς, αλλά και έμμεσα το ανθρώπινο είδος.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στο πρόβλημα των ναυτικών ατυχημάτων σε δεξαμενόπλοια, καθώς οι συνέπειες σε τέτοιου είδους πλοία είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Σκοπός της εργασίας είναι η πλήρης ανάλυση όλων των αξόνων των δεδομένων της βάσης μας. Ειδικότερα, η εργασία ξεκινάει μελετώντας τους διαφορετικούς χαρακτηρισμούς, των δεδομένων του στόλου μας. Είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε τον αριθμό των πλοίων, τα οποία ναυπηγούνται ή αποσύρονται κάθε χρόνο, καθώς και την κατανομή των δεδομένων σε κατηγορίες μεγέθους, ή είδους φορτίου, με αποτέλεσμα να μπορούμε να υπολογίσουμε τη μέση ηλικία του στόλου, όπως και τη μέση διάρκεια ζωής ενός δεξαμενόπλοιου.

Επιπροσθέτως, μελετήθηκε η βάση δεδομένων των ατυχημάτων, με παρόμοιο τρόπο, έχοντας ως αποτέλεσμα τη συχνότητα εμφάνισης του είδους του ατυχήματος, όπως και την ταξινόμηση των ατυχημάτων, ανάλογα με το επίπεδο μόλυνσης που μπορεί να προκληθεί, τη σοβαρότητα, ή τη σημαία.

Τέλος, η διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται με την πιθανοθεωρητική μελέτη της πρόκλησης ατυχημάτων κατά τη διάρκεια ζωής ενός πλοίου. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιήθηκε μία μέθοδος, η οποία μπορεί να κινείται ταυτόχρονα σε δύο διαφορετικούς χρονικούς άξονες, ο ένας άξονας εκ των οποίων ορίζεται ως η ηλικία του πλοίου ενώ ο δεύτερος η σειρά των ατυχημάτων που βίωσε.

Βιβλιογραφική επισκόπηση

Τα ναυτικά ατυχήματα χαρακτηρίζονται από ένα αρκετά μεγάλο εύρος παραμέτρων, πράγμα που καθιστά τη μελέτη και ανάλυσή τους ένα αρκετά δύσκολο πρόβλημα. Το μέγεθος του σκάφους, το φορτίο που μεταφέρει, ο καιρός ή ακόμα κι η λειτουργική κατάσταση στην οποία βρισκόταν το πλοίο τη στιγμή του ατυχήματος, είναι παράγοντες που κατά το στάδιο της μελέτης κρίνεται αναγκαίο να συνυπολογιστούν. Ωστόσο, η συλλογή του τεράστιου όγκου δεδομένων γίνεται κατά κύριο λόγο από ιδιωτικές βάσεις, ασφαλιστικές εταιρείες κ.λπ., με αποτέλεσμα η μελέτη των δεδομένων αυτών να γίνεται από Πανεπιστημιακά ιδρύματα είτε προπτυχιακού είτε μεταπτυχιακού επιπέδου.

Η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα απαρτίζεται κατά κύριο λόγο από διπλωματικές εργασίες του τομέα Μελέτης Πλοίου και Θαλάσσιων Μεταφορών της σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Με τον τρόπο αυτό, εκμεταλλευόμενοι το εύρος, την αναλυτικότητα και την ποικιλομορφία αυτών, καθίσταται δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων, πλαισιώνοντας έτσι, τη μελέτη των ναυτικών ατυχημάτων. Το 2010, στη διπλωματική του εργασία με τίτλο «*Ανάλυση ναυτικών ατυχημάτων δεξαμενόπλοιων μεσαίου μεγέθους*», ο Παύλος , μελέτησε για την περίοδο 1990-2009 από τη βάση δεδομένων *LRF*, το είδος των ναυτικών ατυχημάτων που παρατηρούνται σε κατηγορίες μεγέθους δεξαμενοπλοίων από 20.000 έως 60.000 τόνους DWT καθώς και την καταλυτική επίδραση της θέσπισης των νέων κανονισμών. Επιπλέον, το 2011, η Τσόλα με τη σειρά της, μελέτησε το θέμα των ναυτικών ατυχημάτων, για την περίοδο 1990-2003 με δεδομένα της βάσης *LRF*, με τίτλο «*Ανάλυση ναυτικών ατυχημάτων δεξαμενόπλοιων μεγέθους 5.000-20.000 DWT*». Ενώ το 2012, ο Πιπέρης, στη δική του διπλωματική με τίτλο «*Ανάλυση ναυτικών ατυχημάτων δεξαμενόπλοιων μεγέθους έως 5.000 DWT*», μελέτησε το θέμα των ναυτικών ατυχημάτων, για την περίοδο 1991-2003 επίσης με δεδομένα της βάσης *LRF*. Ταυτόχρονα, το 2012, Νομικός στη διπλωματική του εργασία με τίτλο «*Ανάλυση ναυτικών ατυχημάτων σε δεξαμενόπλοια*», ανέλυσε εκτενώς το θέμα των ατυχημάτων για την περίοδο 1980-2009 χρησιμοποιώντας δεδομένα από τη βάση *CTX*, για όλα τα μεγέθη των δεξαμενόπλοιων. Τέλος, το έτος 2012, η Μπίθα, στη διπλωματική της με τίτλο «*Στατιστική ανάλυση ναυτικών*

ατυχημάτων κατά την περίοδο 1990-2012», με δεδομένα από τη βάση Sea-Web, μελέτησε τα ναυτικά ατυχήματα για όλους τους τύπους πλοίων.

Επιπροσθέτως πολύτιμη βοήθεια και γνώση, για τη σύνταξη της παρούσας διπλωματικής, παρείχαν: η διδακτορική διατριβή της Ηλιοπούλου το έτος 2006, με τίτλο «*Μεθοδολογία ανάπτυξης νέων κανονισμών ευσιτάθειας πλοίων κατόπιν βλάβης και επιδράσεις στη μελέτη και σχεδίαση*», στην οποία περιγράφεται αναλυτικά το πλαίσιο των νέων κανονισμών καθώς και οι επιπτώσεις αυτών στη σχεδίαση των εμπορικών πλοίων. Επιπλέον, η διπλωματική εργασία του Σταυρίδη με τίτλο «*Πετρελαϊκή ρύπανση από ατυχήματα δεξαμενόπλοιων στον ελληνικό θαλάσσιο χώρο*» (2007), όπου μελετάται με στατιστικό τρόπο, η εκροή πετρελαίου και οι αιτίες που την προκαλούν. Η διπλωματική εργασία του Σωτήραλη με τίτλο «*Πιθανοθεωρητική μελέτη διαρροών πετρελαίου από δεξαμενόπλοια: ποσότητες και κόστος*» (2011), με σκοπό τη στατιστική ανάλυση και την πιθανοθεωρητική μελέτη διαρροής, από διαφορετικά σενάρια ατυχημάτων για όλες τις κατηγορίες δεξαμενόπλοιων. Στην εργασία του Παπαδάτου με τίτλο «*Προσομοίωση τύχης πετρελαιοκηλίδας μετά από ναυτικό ατύχημα στο Αιγαίο*» (2013), μελετάται με πιθανοθεωρητικό τρόπο, η εκροή πετρελαίου και οι αιτίες που την προκαλούν. Ακόμη, στη διπλωματική εργασία του Παναγιωτόπουλου με τίτλο «*Μοντελοποίηση ατυχημάτων σύγκρουσης (collision) στις θαλάσσιες μεταφορές με χρήση της μεθόδου Bayesian Networks*» (2015), παρουσιάζεται ένα μοντέλο των ατυχημάτων σύγκρουσης με εφαρμογή πραγματικά ατυχήματα “case studies”.

Όσον αφορά βιβλία και papers , έχει συμπεριληφθεί το paper με τίτλο «*A Probabilistic Analysis Of Tanker Groundings*», όπου μελετάται με πιθανοθεωρητικό τρόπο ο τύπος των ατυχημάτων Groundings και κατασκευάζεται το αντίστοιχο Fault Tree (Amrozowicz et al, 1997) . Ακόμη, εμπεριέχεται το βιβλίο «*Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques with Java Implementations*», το οποίο συνέβαλε σε θέματα προγραμματισμού (Witten & Frank, 2000). Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε το report με τίτλο «*Casualty Investigation Report CA – 63- Fatal Accident in Heavy Weather*», όπου μελετούνται τα αίτια του ατυχήματος του Johann Schulte (2000). Ομοίως και το «*Data Mining Concepts and Techniques.*» (Han & Kamber, 2001). Επιπροσθέτως, γίνεται αναφορά στο paper «*The use*

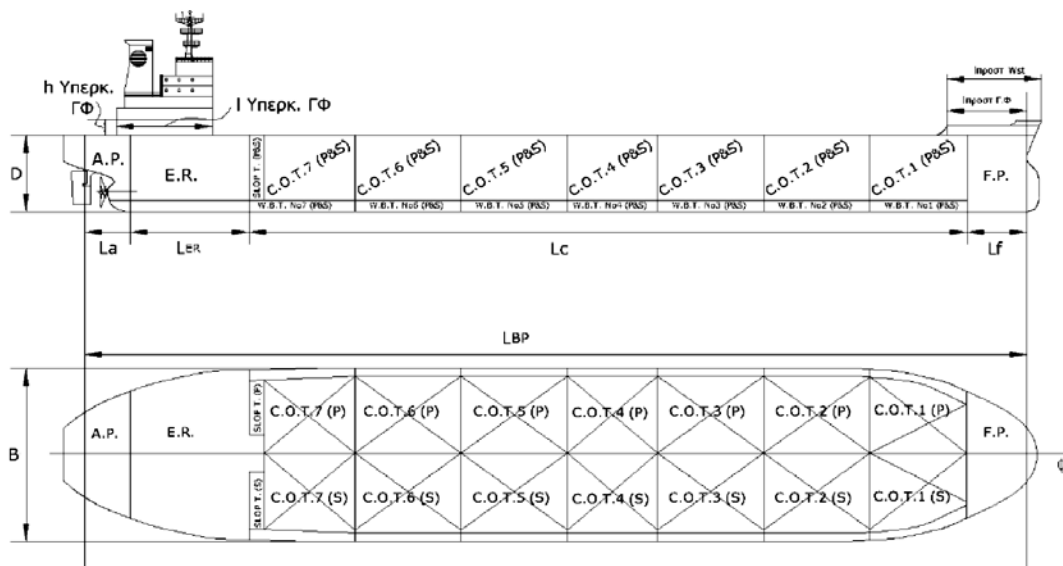
of multiple measurements in taxonomic problems.», (Fisher, 2001) και στο βιβλίο «Chi-squared goodness-of-fit test for right censored data», (Bagdonavicius & Nikulin, 2011).

Τέλος, έχει συμπεριληφθεί το paper « A Model for Risk Analysis of Oil Tankers», όπου παρουσιάζεται ένα μοντέλο εκτίμησης ρίσκου για δεξαμενόπλοια που διέρχονται από τον κόλπο της Φιλανδίας (Jakub et al, 2010).

Κεφάλαιο 1: Δεξαμενόπλοια

1.1 Εισαγωγή

Ο όρος «Δεξαμενόπλοιο» αποδίδεται στον τύπο εμπορικού πλοίου που μεταφέρει υγρό φορτίο χύδην, όπως για παράδειγμα αργό πετρέλαιο ή παράγωγα πετρελαίου, χημικά προϊόντα ή ακόμα και γλυκό νερό. Ένα τυπικό σχέδιο γενικής διάταξης φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα (Εικόνα 1). Όπως και οι περισσότεροι τύποι εμπορικών πλοίων, τα δεξαμενόπλοια ποικίλουν σε μέγεθος. Ξεκινούν από μερικές εκατοντάδες τόνους, τα οποία εξυπηρετούν μικρά λιμάνια, δηλαδή λιμένες με περιορισμούς στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των φιλοξενούντων πλοίων, ενώ φτάνουν μέχρι μερικές εκατοντάδες χιλιάδες τόνους.



Εικόνα 1: Σχέδιο γενικής διάταξης ενός δεξαμενόπλοιου.

Από την αρχαιότητα, τα πάσης φύσεως υγρά φορτία, όπως λάδι ή κρασί, μεταφέρονταν συσκευασμένα σε μεγάλα δοχεία, τους λεγόμενους «αμφορείς». Ακόμα και ο ερματισμός των αρχαίων πλοίων γινόταν με μόνιμα δοχεία, αντί των δεξαμενών, που στοιβάζονταν όρθιοι στα πλευρά των κυτών. Όσο κι αν ακούγεται περίεργα, η παραπάνω μέθοδος χρησιμοποιούνταν ως την εποχή του Α Παγκοσμίου Πολέμου, αντικαθιστώντας τους αμφορείς από βαρέλια, στην αρχή ξύλινα και στη συνέχεια μεταλλικά.

Με τη βιομηχανοποίηση και γενικευμένη χρήση μηχανών καύσης κίνησης, οι ανάγκες μεταφορών πετρελαιοειδών αυξήθηκαν με ταχύτατο ρυθμό και άρχισε η αναζήτηση νέων τρόπων μεταφοράς. Στην αρχή, τα «πλοία βαρέλια» όπως ονόμαζαν τότε τα δεξαμενόπλοια, δεν ξεπερνούσαν τους 15.000 τόνους. Με το πέρας του Β Παγκοσμίου Πολέμου παρατηρείται η εμφάνιση μεγαλύτερων δεξαμενόπλοιων, τα λεγόμενα «*Super Tankers*» που έφταναν μέχρι και 30.000 τόνους. Ειδικότερα τη δεκαετία 1955-1970, ακολούθησε ένας ξέφρενος γιγαντισμός πλοίων, τα επονομαζόμενα «*Mamouth Tankers*» που έφταναν πάνω από 150.000 τόνους.

Η συνεχής αύξηση του μεγέθους αντικατέστησε τις παραπάνω κατηγορίες με νεότερες τάξεις μεγέθους, ενώ η ποικιλία των μεταφερόμενων υγρών

επέβαλε τη δημιουργία διαφορετικών τύπων δεξαμενόπλοιων, περισσότερο εξειδικευμένων στο είδος του φορτίου που μεταφέρουν.

1.2 Θαλάσσιες Μεταφορές - Αργό Πετρέλαιο

Οι θαλάσσιες μεταφορές σήμερα κατέχουν το σημαντικότερο μερίδιο στις μεταφορές παγκοσμίως και αποτελούν το 70% του συνόλου των μεταφορών μεταξύ της Ευρωπαϊκής Ένωσης και του υπόλοιπου κόσμου (Σταυρίδης, 2007)

Η μεταφορά μέσω θαλάσσης αποτελεί το πιο σύνηθες αλλά και το σημαντικότερο μέσο μεταφοράς πετρελαίου αφού το 62% του διεθνώς παραγόμενου πετρελαίου μεταφέρεται μέσω των θαλάσσιων οδών. Υπολογίζεται ότι 100 εκ τόνοι πετρελαίου μεταφέρονται από δεξαμενόπλοια-Tankers κάθε μέρα. Η μεταφορά πετρελαίου μέσω Tankers χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένη εξειδίκευση, αφού τόσο οι ανάγκες για επαρκή κάλυψη της αγοράς πετρελαίου όσο και η ίδια η φύση του φορτίου επιτάσσουν τον συνεχή έλεγχο και τη διαρκή εξέλιξη της συγκεκριμένης κατηγορίας πλοίων. (Σταυρίδης, 2007)

Το πετρέλαιο είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει τα προϊόντα πετρελαίου, τα οποία αποτελούνται κυρίως από υδρογονάνθρακες. Τα είδη αργού πετρελαίου αποτελούνται από ένα ευρύ φάσμα υδρογονανθράκων που κυμαίνονται από πολύ πτητικές ενώσεις, ελαφρά υλικά, όπως το προπάνιο και το βενζόλιο, έως πιο σύνθετες ενώσεις βαρέων υλικών, όπως είδη ασφάλτων, ρητίνες και κεριά. Τα διυλισμένα προϊόντα όπως η βενζίνη ή το πετρέλαιο θέρμανσης αποτελούνται από μικρότερες και πιο συγκεκριμένες περιοχές αυτών των υδρογονανθράκων. (Σωτήραλης, 2011)

1.3 Κίνδυνοι μεταφοράς – Ρύπανση

Ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα της εποχής μας, είναι αυτό της θαλάσσιας ρύπανσης από ανθρώπινη δραστηριότητα. Η μεγάλη βιομηχανική ανάπτυξη σε συνδυασμό με την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και την στροφή σε δραστηριότητες εκμετάλλευσης του θαλάσσιου πλούτου, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του εικοστού αιώνα, έχουν οδηγήσει σε πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα.

Ο ορισμός της θαλάσσιας ρύπανσης, που έχει δώσει η ομάδα ειδικών του UNEP (Περιβαλλοντικού Προγράμματος του ΟΗΕ) είναι:

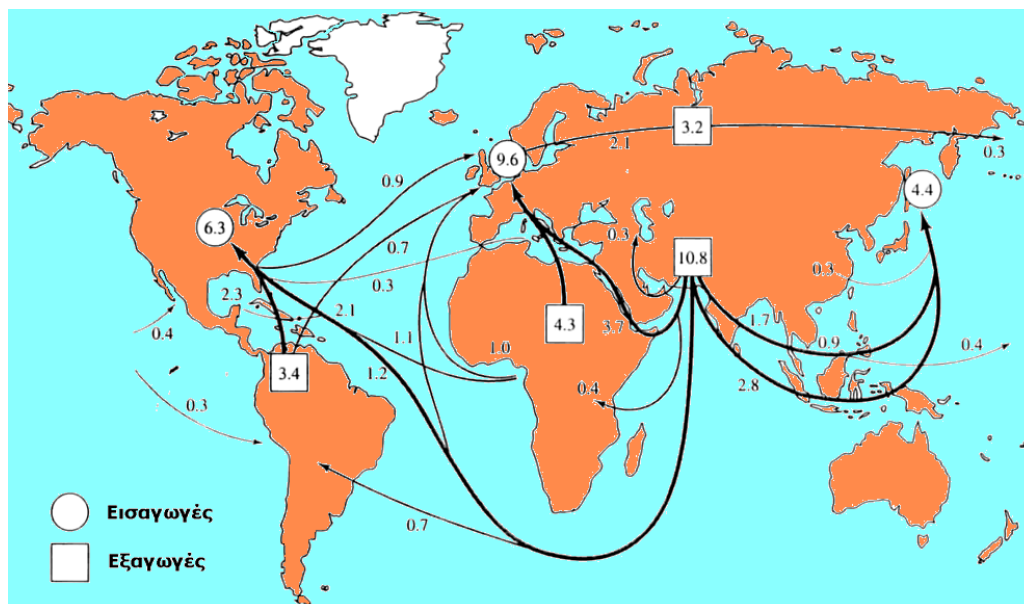
«Θαλάσσια ρύπανση είναι η άμεση ή έμμεση προσθήκη από τον άνθρωπο στο θαλάσσιο περιβάλλον (συμπεριλαμβανομένων των εκβολών ποταμών) ουσιών ή ενέργειας, η οποία έχει αρνητικά αποτελέσματα όπως: βλάβες στους ζωντανούς οργανισμούς, δυσάρεστες επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία, παρεμπόδιση των θαλάσσιων δραστηριοτήτων, όπως η αλιεία και γενικότερη υποβάθμιση της ποιότητας του θαλασσινού νερού».

Οι κύριοι οδοί εισόδου του πετρελαίου στη θάλασσα μπορούν να διαχωριστούν στις εξής τέσσερις κατηγορίες:

- Φυσικές εισροές
- Εξόρυξη πετρελαίου
- Μεταφορά πετρελαίου
- Χρήση – Κατανάλωση πετρελαίου

Αν και μοιάζει ακίνδυνη, στη μεταφορά του πετρελαίου οφείλεται το μεγαλύτερο ποσοστό θαλάσσιας ρύπανσης. Φυσικά τα ναυτικά ατυχήματα των πετρελαιοφόρων προκαλούν απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων πετρελαίου στη θάλασσα, αλλά ακόμα και η «φυσιολογική» λειτουργία των μηχανών των πλοίων συμβάλει στο πρόβλημα απελευθερώνοντας συνεχώς μικρές ποσότητες ρύπων.

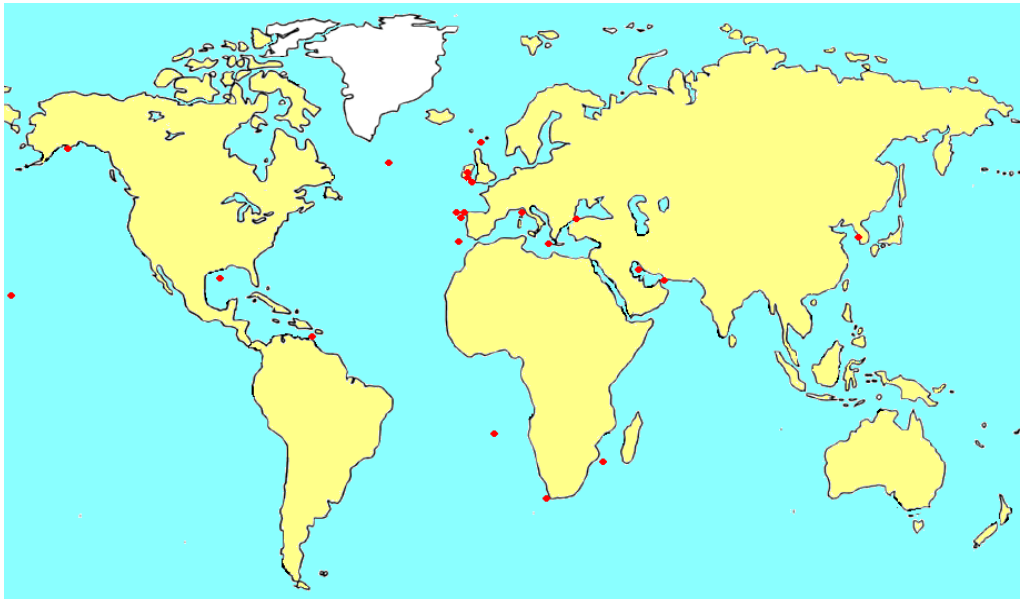
Τα ατυχήματα των δεξαμενοπλοίων μπορεί να προκαλούν το κοινό ενδιαφέρον καθώς τα αποτελέσματά τους είναι ορατά, όμως το ποσοστό συμβολής τους στη θαλάσσια ρύπανση είναι μικρότερο από αυτό της «λειτουργικής ρύπανσης». Ο αριθμός των μεγάλων κηλίδων – πάνω από 700 τόνοι πετρελαίου – έχει μειωθεί σημαντικά και τώρα είναι λιγότερες από το ένα τρίτο αυτών του 1980. Οι πετρελαιοκηλίδες λόγω μεταφοράς όμως, δεν εμφανίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές, αλλά μπορούν να παρουσιαστούν οπουδήποτε περνούν τα πετρελαιοφόρα. Οι πετρελαιοκηλίδες αυτές, περιέχουν εκτός από ακατέργαστο πετρέλαιο και ποικιλία προϊόντων, καθένα από τα οποία συμπεριφέρεται διαφορετικά στο περιβάλλον.



Εικόνα 2: Οι κύριοι οδοί διακίνησης πετρελαίου στον κόσμο (Δασενάκης, 2015)

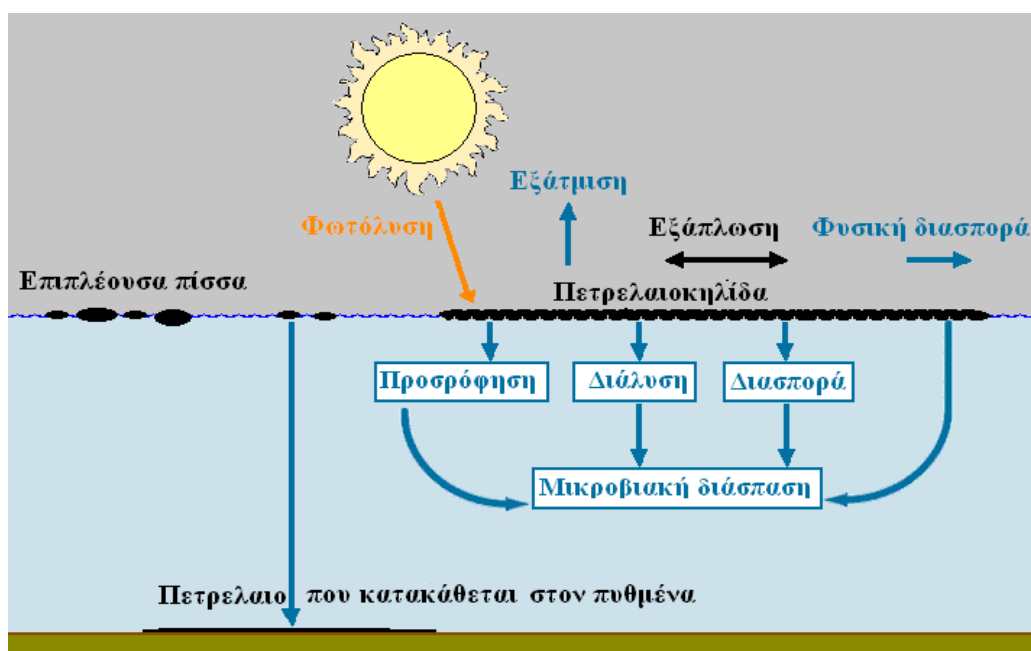
Η χρήση του πετρελαίου σε βιομηχανικές, γεωργικές και αστικές δραστηριότητες, όπως επίσης και στις χερσαίες μεταφορές, οδηγεί στην εισροή σημαντικών ποσοτήτων πετρελαίου στη θάλασσα κάθε χρόνο. Οι ποσότητες αυτές εισέρχονται τόσο από σημειακές πηγές, όπως αγωγοί αποβλήτων, ποτάμια κλπ., όσο και από διάχυτη ρύπανση και είναι το αποτέλεσμα πολλών μικρών διαρροών.

Αν και δύσκολα πιστευτό, το μεγαλύτερο ποσοστό εισροής πετρελαϊκών υδρογονανθράκων στη θάλασσα προέρχονται από πηγές της στεριάς. Στο σχήμα που ακολουθεί (Εικόνα 3), παρουσιάζονται οι σημαντικότερες πετρελαιοκηλίδες των τελευταίων 40 ετών.



Εικόνα 3: Θέσεις σημαντικών πετρελαιοκηλίδων (σημειώνονται με κόκκινη τελεία) (Δασενάκης, 2015)

Οι φυσικές και χημικές αλλαγές, που υφίσταται το πετρέλαιο όταν έρχεται σε επαφή με το θαλάσσιο περιβάλλον, είναι γνωστές ως ‘αποχρωματισμός’. Οι διεργασίες του αποχρωματισμού είναι η εξάπλωση, η εξάτμιση, η φυσική διασπορά, η γαλακτωματοποίηση, η διάλυση, η φωτοχημική οξείδωση, η καθίζηση και η βιοδιάσπαση. Το σύνολο των διεργασιών αυτών αποτελεί τη «γήρανση». Αν και οι διεργασίες αυτές συμβαίνουν ταυτόχρονα, η ένταση και η σημασία της κάθε μίας στη διάρκεια ενός επεισοδίου πετρελαϊκής ρύπανσης διαφέρει. Στο σχήμα που ακολουθεί (Εικόνα 4), παρουσιάζονται οι διεργασίες αυτές:



Εικόνα 4: Η πορεία του διαρρέοντος πετρελαίου, μέσω των φυσικών διεργασιών. (Δασενάκης, 2015)

Αναλυτικά παρουσιάζονται οι παραπάνω διεργασίες, όπως περιγράφονται στο ακαδημαϊκό σύγγραμμα του κ. Δασενάκη, με τίτλο «Χημική Ωκεανογραφία».

Εξάπλωση είναι η τάση της πετρελαιοκηλίδας να επεκτείνεται και να σχηματίζει στενές λωρίδες, παράλληλες στη διεύθυνση του ανέμου. Είναι μια από τις βασικότερες διεργασίες στα πρώτα στάδια της εισροής του πετρελαίου στη θάλασσα. Η ταχύτητα εξάπλωσης εξαρτάται από το πάχος της κηλίδας, τον τύπο και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του πετρελαίου, την κατάσταση της θάλασσας (κυματισμός, ρεύματα, θερμοκρασία κ.λπ.) και την ταχύτητα του ανέμου.

Η **εξάτμιση** είναι η διαδικασία μεταφοράς μέρους του πετρελαίου από την επιφάνεια της θάλασσας στην ατμόσφαιρα. Η ταχύτητα και ο βαθμός εξάτμισης εξαρτάται από την πιητικότητα του πετρελαίου και αυξάνει με τη θερμοκρασία, την εξάπλωση, τον άνεμο, τη διατάραξη της θάλασσας κ.λπ. Μέσα σε 24 περίπου ώρες τα περισσότερα είδη αργού πετρελαίου έχουν χάσει το 25-30% των ελαφρύτερων συστατικών τους.

Ως **φυσική διασπορά**, ορίζεται η διάσπαση της πετρελαιοκηλίδας, σε σταγονίδια διαφόρων μεγεθών. Προκαλείται από τους κυματισμούς και τους στροβιλισμούς στην επιφάνεια της θάλασσας. Οι μεγαλύτερες σταγόνες επιστρέφουν στην επιφάνεια, όπου συσσωματώνονται με άλλες και είτε δημιουργούν ξανά κηλίδα είτε εξαπλώνονται δημιουργώντας λεπτά «φιλμ». Οι μικρές σταγόνες αιωρούνται και τελικά καταβυθίζονται. Ο ρυθμός φυσικής διασποράς και ο ρυθμός εξάτμισης καθορίζουν το χρόνο ζωής μιας κηλίδας.

Γαλακτωματοποίηση είναι η τάση του αργού πετρελαίου να απορροφά νερό, αυξάνοντας τον όγκο του κατά 3 με 4 φορές, δημιουργώντας έτσι ένα γαλάκτωμα πετρελαίου – νερού. Το ποσοστό του νερού στο γαλάκτωμα μπορεί να φτάσει το 75-80%. Καθώς αυξάνεται το ποσοστό του νερού, παρατηρείται μεταβολή του χρώματος του γαλακτώματος μεταξύ μαύρου, πορτοκαλί και κόκκινου. Όσο πιο παραγμένη είναι η θάλασσα τόσο αυξάνει η ταχύτητα γαλακτωματοποίησης. Η διαδικασία της απορρόφησης του νερού ολοκληρώνεται σε μερικές ώρες, ενώ η παραπάνω διεργασία δυσκολεύει την εξάτμιση και τη διαδικασία καθαρισμού.

Η **διάλυση** του πετρελαίου στο νερό είναι μικρή και αφορά μόνο τα ελαφρά και πολικά συστατικά. Τα βαριά συστατικά είναι πρακτικά αδιάλυτα, ενώ οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες είναι ελάχιστα διαλυτοί.

Φωτοχημική οξείδωση είναι η επίδραση του οξυγόνου και της ηλιακής ακτινοβολίας στην πετρελαιοκηλίδα και εξαρτάται από το πάχος του φιλμ. Υπό την επίδραση έντονου ηλιακού φωτός λεπτά στρώματα διασπώνται με πολύ αργές ταχύτητες, ενώ η επίδραση της οξείδωσης σε παχύτερα στρώματα οδηγεί στη δημιουργία βαρύτερων ενώσεων, όπως κομμάτια πίσσας, με μεγαλύτερο χρόνο ζωής.

Καθίζηση είναι η βύθιση μερικών βαρέων παραγώγων πετρελαίου ενώ προκαλείται, επίσης, και με προσκόλληση του πετρελαίου σε αιωρούμενα ανόργανα σωματίδια, τα οποία καταβυθίζονται με αργό ρυθμό.

Κατά τη **βιολογική αποδόμηση** θαλάσσιοι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν το πετρέλαιο ως πηγή ενέργειας. Η ταχύτητα βιοαποικοδόμησης εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την ύπαρξη οξυγόνου και

θρεπτικών συστατικών, ενώ λαμβάνει χώρα στην επιφάνεια επαφής νερού-πετρελαίου. Όσο πιο δυσμενής είναι οι συνθήκες τόσο αυξάνει το χρονικό διάστημα της βιοαποικοδόμησης.

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

Η θαλάσσια ρύπανση από πετρελαιοειδή, έχει τόσο αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον (βραχώδεις και αμμώδεις ακτές), όσο και στους οργανισμούς που ζούνε σε αυτό. Αυτός είναι και λόγος, που παρά τις θετικές εξελίξεις που παρατηρήθηκαν τα τελευταία χρόνια, με τη θέσπιση κανονισμών για τη μεταφορά του αργού πετρελαίου, ο στόχος του IMO είναι η συνεχής βελτίωση της ασφάλειας και της περιβαλλοντικής ασφάλειας.



Εικόνα 5: Επιπτώσεις της θαλάσσιας ρύπανσης. (Δασενάκης, 2015)

1.4 Ιστορικό ατυχημάτων - Νομοθεσία

Με αφετηρία τη δυσκολία εκκαθάρισης του θαλάσσιου υδροφόρου ορίζοντα από τα πετρελαιοειδή και τις σοβαρές επιπτώσεις αυτών, τόσο στους θαλάσσιους οργανισμούς αλλά και στο ανθρώπινο είδος (Εικόνα 5), αποτέλεσε κοινό τόπο η πάση θυσίας αποφυγή εισροής του πετρελαίου και των παραγώγων του στη θάλασσα.

Οι προδιαγραφές στεγανής υποδιαίρεσης και επιτρεπόμενου ύψους εξάλων, ήταν οι πρώτοι κανονισμοί που τέθηκαν για όλους τους τύπους εμπορικών πλοίων, καθώς παρείχαν ασφάλεια για την μεταλλική κατασκευή

του πλοίου, ευστάθεια κατόπιν βλάβης, το φορτίο και του πληρώματος. Όμως, η συνεχής ρύπανση του περιβάλλοντος κατόπιν ατυχήματος συγκεκριμένου τύπου πλοίου οδήγησε στις πρώτες ειδικές προδιαγραφές.

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO, International Maritime Organization) δημιουργήθηκε το 1948 σε μια διάσκεψη που οργανώθηκε από τα Ηνωμένα Έθνη, με πρωταρχικό σκοπό τη λήψη μέτρων για την ασφάλεια στη θάλασσα. Λόγο της διστακτικότητας κάποιων χωρών, η λειτουργία του οργανισμού καθυστέρησε ως το 1959, όπου έγινε η πρώτη συνεδρίαση, με αποτέλεσμα οι όποιοι κανονισμοί εγκρίνονται να περιλαμβάνονται σε διεθνής συνθήκες, οι οποίες θα ονομάζονται «*Συμβάσεις*».

Η πρώτη διεθνής συνθήκη για την αποφυγή ρύπανσης των εγχώριων θαλασσών, γνωστή ως «*OIL POL*», διατυπώθηκε το 1954, ύστερα από συνεχής προσπάθειες της Μεγάλης Βρετανίας για πρόληψη και αποφυγή μόλυνσης των παραθαλάσσιων ακτών της. Η Σύμβαση καθόριζε τα πρώτα μέτρα προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος, απαγορεύοντας, για όλους τους τύπους πλοίων, την απόρριψη υπολειμμάτων πετρελαίου ή και παραγώγων του, εντός μιας συγκεκριμένης απόστασης κατά μήκος των ακτών.

Δυστυχώς, η συνεχής βελτίωσης των κανονισμών δεν θα μπορούσε να επιτευχθεί χωρίς την ύπαρξη ατυχημάτων διαρροής επικίνδυνων φορτίων, υπενθυμίζοντας μας το μέγεθος της σοβαρότητας που απαιτείται στις θαλάσσιες μεταφορές.

Στη συνέχεια, παρατίθενται τα σημαντικότερα ατυχήματα που οδήγησαν στην εισαγωγή νέων κανονισμών και τροποποιήσεων, όπως παρουσιάζονται αναλυτικά στη διδακτορική διατριβή της Ε. Ηλιοπούλου, με τίτλο «*Μεθοδολογία ανάπτυξης νέων κανονισμών ευστάθειας πλοίων κατόπιν βλάβης και επιδράσεις στη μελέτη και σχεδίαση.*».

Το 1967, η προσάραξη του δεξαμενόπλοιου *Torrey Canyon*, έφερε στο προσκήνιο το σοβαρό ενδεχόμενο εκτεταμένης θαλάσσιας ρύπανσης στην περίπτωση ατυχήματος, αναγκάζοντας τον IMO, στην υιοθέτηση της σύμβασης «*MARPOL 1973*» με πεδίο εφαρμογής εμπορικά πλοία μεταφοράς πετρελαιοειδών ή άλλων χημικών επικίνδυνων ουσιών. Είναι η πρώτη φορά που διατυπώνονται κανόνες ασφαλείας κατά τη φορτοεκφόρτωση και τον έλεγχο των λιμένων και ορίζονται οι ειδικές θαλάσσιες ζώνες που χρίζουν υψηλότερες προδιαγραφές ασφαλείας, όπως η Μεσόγειος.

Οι συνεχείς συζητήσεις και προτάσεις οδήγησαν στην εδραίωση της σύμβασης «*SOLAS 1974*» (Safety Of Life At Sea), η οποία περιλαμβάνει ειδικές απαιτήσεις για τα δεξαμενόπλοια και πιο συγκεκριμένα, για την ασφάλεια έναντι πυρκαγιάς. Υποχρεώνοντας τόσο τα νεότευκτα αλλά και τα υπάρχοντα πλοία στην εγκατάσταση ειδικού συστήματος αδρανούς αερίου στο χώρο των δεξαμενών φορτίου.

Η προσάραξη του δεξαμενόπλοιου *Argo Merchant* το 1976 και στη συνέχεια η προσάραξη του δεξαμενόπλοιου *Amoco Cadiz* το 1978, οδήγησαν στη σύνταξη και υιοθέτηση επιπρόσθετων μέτρων στο πρωτόκολλο 78 της ήδη υπάρχουσας Διεθνής Συμβάσεως MARPOL 73 (MARPOL 73/78). Με σκοπό την αποφυγή διαρροής πετρελαίου στη θάλασσα, στο πρωτόκολλο του 78, απαιτείται ο διαχωρισμός των δεξαμενών έρματος από αυτές του φορτίου.

Το 1989, με την προσάραξη του δεξαμενόπλοιου *Exxon Valdez*, λαμβάνει μέρος η πρώτη συμφωνία που αφορά συγκεκριμένη περιοχή εφαρμογής. Η συμφωνία *OPA 90* απαιτεί την ύπαρξη διπλών τοιχωμάτων για τα δεξαμενόπλοια που πλέουν σε Αμερικάνικα ύδατα.

Το 1993, η παραπάνω συμφωνία οδήγησε στην τροποποίηση της Δ.Σ. *MARPOL* εισάγοντας τον *κανονισμό 13F*, ο οποίος απαιτεί, για νεότευκτα δεξαμενόπλοια, την ύπαρξη διπλών τοιχωμάτων ή κάποιας εναλλακτική σχεδίαση, η οποία να παρέχει ισοδύναμο βαθμό προστασίας έναντι της θαλάσσιας ρύπανσης.

Το ατύχημα του δεξαμενόπλοιου *Erika*, το 1999, ώθησε στην τροποποίηση και αναθεώρηση της *MARPOL 73/78*, επισπεύδοντας τη συμμόρφωση των υφιστάμενων πλοίων με τους κανονισμούς, *κανονισμός 13G*. Επίσης οδήγησε την Ευρωπαϊκή Ένωση στη λήψη ειδικών μέτρων γνωστά ως πακέτα μέτρων *ERIKA I* και *ERIKA II*.

Τέλος, το ατύχημα του δεξαμενόπλοιου *Prestige*, το 2002, ώθησε την Ε.Ε. στη υιοθέτηση του *κανονισμού 1726/2003* που προβλέπει την οριστική απόσυρση των υφιστάμενων δεξαμενόπλοιων μονού τοιχώματος ως το 2015 ή και νωρίτερα.

Παράλληλα, ο IMO τροποποιεί τον *κανονισμό 13G* της ΔΣ *MARPOL 73/78* και εισαγάγει τον *κανονισμό 13H* του Παραρτήματος I της ΔΣ *MARPOL* τον Δεκέμβριο του 2003, σύμφωνα με τις οποίες εφαρμόζεται η σταδιακή απόσυρση μονόγαστρων πλοίων κατασκευής νωρίτερα από τις 5 Απριλίου του 1982. Ταυτόχρονα, θέτει και ημερομηνίες απόσυρσης για δεξαμενόπλοια διπλού τοιχώματος που έχουν συμπληρώσει το 25ο έτος της ηλικίας τους. (Ηλιοπούλου, 2006)

1.5 Διαμόρφωση του χώρου κυτών.

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, η μεταφορά των πετρελαιοειδών στο εσωτερικό των κυτών του δεξαμενόπλοιου παρέχει σαφώς μεγαλύτερη ασφάλεια για το φορτίο, σε σχέση με τα βαρέλια. Τα αρχικά σχέδια των δεξαμενοπλοίων ήταν μονού τοιχώματος, εσωτερικά διαμορφωμένα με τέτοιο τρόπο, ώστε ο χώρος φορτίου να αποτελείται αποκλειστικά από δεξαμενές, οι οποίες προστατεύονταν μόνο από το εξωτερικό περιβλημά της γάστρας. Οι δεξαμενές αυτές χρησιμοποιείτο για τη μεταφορά φορτίου ή θαλασσινού έρματος.

Η υιοθέτηση της Διεθνούς Συμβάσεως του 1973, οδήγησε στις πρώτες παρεμβάσεις στη γάστρα των δεξαμενόπλοιων, απαιτώντας τον διαχωρισμό των δεξαμενών έρματος από αυτές του φορτίου. Με τον τρόπο αυτό, αποφεύγεται η ρύπανση της θάλασσας καθώς δεν λαμβάνει χώρα ανάμειξη φορτίου με το θαλασσινό νερό. Η σύμβαση αυτή αφορούσε πλοία με συμφωνητικό κατασκευής μετά το 1975 και χωρητικότητα άνω των 70.000 τόνων DWT.

Το πρωτόκολλο του 1978, απαίτησε οι δεξαμενές διαχωρισμένου έρματος να τοποθετηθούν υποχρεωτικά σε όλα τα δεξαμενόπλοια από 20.000 τόνους DWT και άνω. Επιπλέον, αυτές να τοποθετηθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να έχουν προστατευτικό ρόλο για το φορτίο, έτσι ώστε σε περίπτωση σύγκρουσης, επαφής ή προσάραξης να δυσκολεύεται η διαρροή φορτίου προς τη

θάλασσα. Τα δεξαμενόπλοια αυτά, είναι γνωστά ως *Segregated Ballast Tanks / Protectively Located*.

Στο σημείο αυτό τονίζεται πως μέχρι την υιοθέτηση του πρωτοκόλλου του 1978 η συνθήκη του 1973 δεν είχε τεθεί ακόμα σε ισχύ με αποτέλεσμα την απορρόφησης της. Σήμερα αναφέρεται ως διεθνής συνθήκη *MARPOL 73/78*.

Οι τροποποιήσεις του 1992 τέθηκαν σε ισχύ τον Ιούλιο του 1993, απαιτώντας την ύπαρξη διπλών τοιχωμάτων και πυθμένα ενώ αφορούσαν σκάφη με ημερομηνία κατασκευής μετά το 1993. Για τα δεξαμενόπλοια με ημερομηνία ναυπήγησης πριν το 1993, ισχύουν επίσης οι ίδιες τροποποιήσεις χωρίς όμως να ορίζεται ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα συμμόρφωσης με τους κανονισμούς.

Με τον τρόπο αυτό, ο *κανονισμός 13F*, απαιτεί τα “νέα” δεξαμενόπλοια χωρητικότητας 5.000 τόνων DWT και άνω, να διαθέτουν απόσταση διπλών τοιχωμάτων και ύψος διπύθμενου μέχρι 2 μέτρα, ενώ για μικρότερα των 5.000 τόνων το αντίστοιχο διάστημα θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,76 μέτρα.

Για τα ήδη υπάρχοντα πλοία άνω των 20.000 τόνων, ο *κανονισμός 13G*, με ισχύ από το 1995, απαιτεί την ύπαρξη διπλής γάστρας μετά τη συμπλήρωση του 25^{ου} έτους της ηλικίας τους. Σε περίπτωση συμμόρφωσης επιτρέπει στα πλοία αυτά να φτάσουν μέχρι το 30^ο έτος.

Επιπλέον, υπάρχει ο τροποποιημένος κανονισμός 13G (Κανονισμός 20) και ο κανονισμός 13H (Κανονισμός 21 στο αναθεωρημένο Παράρτημα) που αφορά την εισαγωγή της απαίτησης για διπλά τοιχώματα στην κατασκευή των νέων δεξαμενόπλοιων. Ακόμη, ένα σημαντικό στοιχείο του τροποποιημένου Παραρτήματος I είναι ότι διαχωρίζει σε διαφορετικά κεφάλαια τις απαιτήσεις σε επίπεδο κατασκευής και εξοπλισμού από τις απαιτήσεις σε επίπεδο λειτουργίας των πλοίων και καθιστά σαφείς τις διακρίσεις μεταξύ των απαιτήσεων για τα νέα πλοία και εκείνων για τα υπάρχοντα πλοία. Ουσιαστικά το αναθεωρημένο Παράρτημα I είναι ένα πιο «φιλικό» προς το χρήστη (Ι. Περόντης, 2016).

Ένα νέο χρονοδιάγραμμα για την κατάργηση των πλοίων μονής γάστρας παρουσιάστηκε στις τροποποιήσεις του 2001 και επιταχύνθηκε στη συνέχεια από αυτές του 2003 που τέθηκαν σε ισχύ τον Απρίλιο του 2005.

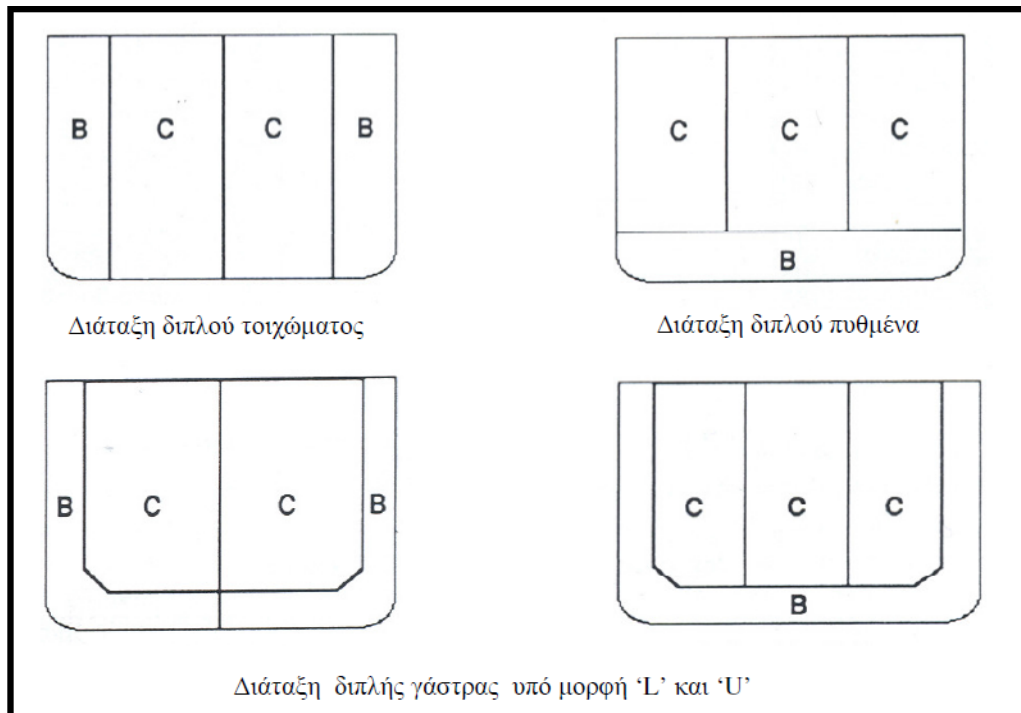
Το χρονοδιάγραμμα για τη σταδιακή κατάργηση των δεξαμενοπλοίων μονής γάστρας είναι το ακόλουθο :

- Για δεξαμενόπλοια μονής γάστρας μη SBT/PL : στις 5 Απριλίου 2005 , για τα πλοία που έχουν παραδοθεί στις 5 Απριλίου 1982 ή νωρίτερα , ενώ για πλοία που έχουν παραδοθεί μετά τις 5 Απριλίου 1982 , στην ημερομηνία επετείου της παράδοσης του κατά το έτος 2005.
- Για δεξαμενόπλοια μονής γάστρας SBT/PL : στις 5 Απριλίου 2005 , πλοία που έχουν παραδοθεί στις 5 Απριλίου 1977 ή νωρίτερα , το 2005 για πλοία που έχουν παραδοθεί μετά τις 5 Απριλίου 1977 αλλά πριν την 1η Ιανουαρίου 1978 , το 2006 για πλοία που έχουν παραδοθεί το 1978 και το 1979 , το 2007 για πλοία που έχουν παραδοθεί το 1980 και το 1981 , το 2008 για πλοία που έχουν παραδοθεί το 1982, το 2009

για πλοία που έχουν παραδοθεί το 1983 και το 2010 για πλοία που έχουν παραδοθεί το 1984 ή αργότερα .

Τέλος, ο αναθεωρημένος κανονισμός παρέχει το δικαίωμα επιλογής στη σημαία για τη συνέχιση της λειτουργίας των μετά-MARPOL δεξαμενοπλοίων πέρα από το 2010 μέχρι το 2015 ή στην ημερομηνία κατά την οποία το πλοίο φθάνει στο 25ο έτος της ηλικίας του, όποιο έρθει νωρίτερα. Βέβαια, ο κανονισμός αυτός παρέχει συγχρόνως τη δυνατότητα απαγόρευσης πλεύσης τέτοιων δεξαμενοπλοίων στα χωρικά ύδατα, στην εκάστοτε λιμενική αρχή.

Ως αποτέλεσμα όλων των παραπάνω εξελίξεων, έχει προκύψει μια ποικιλία εναλλακτικών μορφών στη διάταξη της γάστρας των δεξαμενοπλοίων τα τελευταία χρόνια. Στην εικόνα 6 που ακολουθεί, εμφανίζονται οι διατάξεις της γάστρας των δεξαμενοπλοίων που απαντώνται σήμερα.



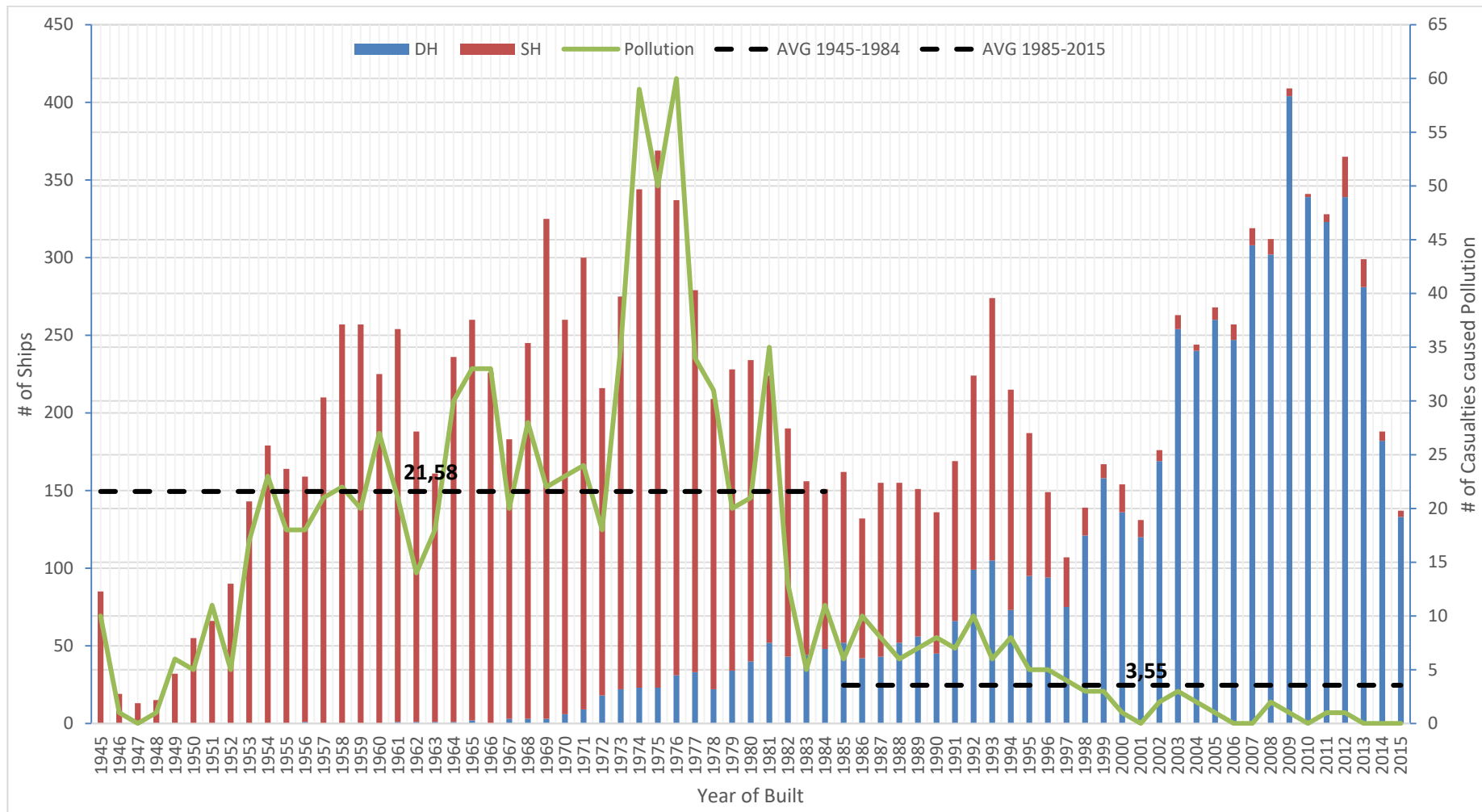
Εικόνα 6: Τυπικές διατάξεις γάστρας δεξαμενόπλοιων. (Διαμαντής, 2010)

Η αποτελεσματικότητα των παραπάνω κανονισμών εντοπίζεται στα δεδομένα της βάσης μας και παρουσιάζονται στο γράφημα της ακόλουθης εικόνας (Εικόνα 7).

Ο οριζόντιος άξονας περιέχει το έτος κτήσεως του πλοίου (Year of Built). Στον πρωτεύοντα (αριστερό) κατακόρυφο άξονα αναφέρεται ο αριθμός των πλοίων ανά έτος κτήσεως. Ενώ στον δευτερεύοντα (δεξιό) κατακόρυφο άξονα αναφέρετε ο αριθμός των ατυχημάτων με διαρροή φορτίου προς τη θάλασσα ανά έτος κτήσεως. Με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται τα πλοία μονής γάστρας (Single Hull) ενώ με μπλε χρώμα παρουσιάζονται τα πλοία διπλής γάστρας (Double Hull) όπως απαιτούν οι κανονισμοί.

Τέλος, την περίοδο 1945-1984, περίοδος 40 ετών και σόλο 7819 πλοίων, συναντάμε 863 ατυχήματα διαρροής φορτίου. Δηλαδή, 21,58 ατυχήματα ανά έτος κτήσεως ή $2,76 \cdot 10^{-3}$ ατυχήματα ανά πλοίο ανά έτος κτήσεως. Ενώ για την περίοδο 1985-2015, περίοδος 31 ετών και σόλο 6713 πλοίων, συναντάμε μόνο 110 ατυχήματα. Δηλαδή, 3,55 ατυχήματα ανά έτος κτήσεως ή $0,53 \cdot 10^{-3}$ ατυχήματα ανά πλοίο ανά έτος κτήσεως.

Έτσι, ένα πλοίο που ναυπηγήθηκε μετά το 1985 έχει σχεδόν 5 φορές μικρότερη πιθανότητα να εμπλακεί σε ατύχημα με αποτέλεσμα τη διαρροή φορτίου στη θάλασσα, από ένα πλοίο που ναυπηγήθηκε πριν το 1985.



Εικόνα 7: Διάγραμμα αριθμού πλοίων DH,SH και ατυχημάτων διαρροής φορτίου, ανά έτος κτήσεως.

Κεφάλαιο 2: Στατιστικές Μέθοδοι-Μαθηματικό Υπόβαθρο

2.1 Εισαγωγή

Αποτελεί κοινό τόπο ότι, ο απώτερο στόχος κάθε επιστημονικής ανάλυσης, είναι να εντοπίζει τις σχέσεις αλληλεξάρτησης μεταξύ των μεταβλητών ενός προβλήματος. Έτσι, για την αναζήτηση της σημασίας του φαινομένου, δεν υπάρχει άλλος τρόπος, εκτός από τη συσχέτιση ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών.

Οι δύο πιο στοιχειώδεις ιδιότητες κάθε σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών ενός προβλήματος είναι: (Ρούσσας, 2011)

- Το *μέγεθος*: κατά πόσο μπορούμε να προβλέψουμε μια μεταβλητή, βασισμένοι στην άλλη.
- Η *αξιοπιστία*: πόσο πιθανό είναι ότι μια παρόμοια σχέση θα βρισκόταν εάν το πείραμα ξαναγινόταν με άλλα δείγματα του ίσου πληθυσμού.

Ως εργαλείο στην προσπάθεια κατανόησης και σύνδεσης της αίτια με το αποτέλεσμα, ή με άλλα λόγια το ναυτικό ατύχημα με το άθικτο πλοίο, είναι ο κλάδος των μαθηματικών που ονομάζεται στατιστική.

Στο παρόν κεφάλαιο, περιγράφονται όλα τα μαθηματικά εργαλεία που συμπεριλαμβάνονται στην παρούσα έρευνα και που βοηθούν στον διαχωρισμό, στην κατάταξη και στην ανάλυση των δεδομένων.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί, πως μια στατιστική ανάλυση δεν μπορεί να αποδείξει μια τέτοια σχέση. Είναι σε θέση όμως να δείξει και να αναδείξει το κατά πόσο οι διάφορες μεταβολές στους ρυθμούς ατυχημάτων είναι συστηματικές, ή αποκλειστικά τυχαίες.

2.2 Κατανομές και Ιστόγραμμα

Όπως περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο, μερικά από τα δεδομένα που καλούμαστε να εξετάσουμε αποτελούν διακριτές τιμές ενός συνεχούς άξονα, όπως ο χρόνος. Ή άλλες πάλι, σχετίζονται με περισσότερες από μία μεταβλητή. Πράγμα που συνεπάγεται πως πρέπει να τις επεξεργαστούμε ως τέτοιες και ως προς κάθε άξονα και στη συνέχεια να τις παρεμβάλουμε στην πραγματικότητα.

Για τον λόγο αυτό οφείλουμε να παραθέσουμε στον αναγνώστη μερικές «βασικές έννοιες» της θεωρίας των πιθανοτήτων και της στατιστικής.

2.2.1 Πιθανότητα - Συχνότητες

Μια από τις πιο βασικές έννοιες της θεωρίας των πιθανοτήτων είναι αυτή του «πειράματος τύχης». Παρά το γεγονός ότι ένας πιο αυστηρός ορισμός είναι δυνατός, θα περιοριστούμε εδώ στη παρουσίαση του πειράματος τύχης ως μια διαδικασία η οποία εκτελείται υπακούοντας σε ένα προκαθορισμένο σύνολο προϋποθέσεων, και τέλος με την ολοκλήρωσή του παρατηρούνται συγκεκριμένα αποτελέσματα.

Τα αποτελέσματα ενός πειράματος τύχης, συμβολίζονται με "s" και ονομάζονται «δειγματοσημεία». Το σύνολο όλων των δυνατών δειγματοσημείων, ενός πειράματος τύχης, ονομάζεται «δειγματικός χώρος» "S". Υποσύνολα του S, ονομάζονται «γεγονότα», και συμβολίζονται με A, B, C κ.λπ.

(Ρούσσας, 2011)

Με άλλα λόγια, ως δειγματικό χώρο μπορούμε να θεωρήσουμε των εκάστοτε στόλο τον οποίο μελετούμε κάθε φορά, ή αλλιώς το «*Fleet at Risk*». Ενώ ως δειγματοσημεία θεωρούνται όλα τα διαφορετικά πλοία του στόλου.

Σύμφωνα με τον **Κλασικό Ορισμό της Πιθανότητας**:

Έστω ένας δειγματικός χώρος S, ο οποίος συνδέεται με ένα συγκεκριμένο πείραμα τύχης και αποτελείται από πεπερασμένα σε πλήθος δειγματοσημεία, το καθένα από τα οποία έχει την ίδια ευκαιρία να συμβεί κάθε φορά που πραγματοποιείται το συγκεκριμένο πείραμα τύχης. Τότε η πιθανότητα ενός οποιουδήποτε γεγονότος A, το οποίο αποτελείται από m δειγματοσημεία, με $0 \leq m \leq n$ δίνεται από τη σχέση:

(Ρούσσας, 2011)

$$P(A) = \frac{m}{n}$$

Με τον τρόπο αυτό, αν θεωρήσουμε το γεγονός A, ως το γεγονός τα πλοία να έχουν τουλάχιστον ένα ατύχημα στη ζωή τους, τότε η πιθανότητα να συμβεί το A, θα ήταν:

$$P(A) = \frac{(\# \text{ των πλοίων με τουλάχιστον 1 ατύχημα})}{(\# \text{ των πλοίων που περιέχει ο στόλος})}$$

Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο μπορούμε να εξειδικεύσουμε το πρόβλημά μας και να εστιάσουμε σε διαφορετικούς άξονες, όπως το είδος του πλοίου, το είδος του φορτίου το οποίο μετέφερε ακόμα και το είδος ή τον τόπο του ατυχήματος.

Στο σημείο εκείνο που οφείλει να δώσει βάση ο μελετητής ο οποίος θέλει να υπολογίσει την πιθανότητα ενός γεγονότος, και ιδιαίτερα όταν εμβαθύνει στη ανάλυση ενός προβλήματος, είναι ο παρονομαστής. Ο οποίος ορίζει αν πιθανότητα που υπολογίζεται είναι ολική, απαντά σε όλο το S , ή είναι μερική, δηλαδή εφαρμόζει σε ένα υποσύνολο του S .

Όταν σε ένα πρόβλημα τα δειγματοσημεία δεν έχουν την ίδια ευκαιρία να εμφανιστούν, ή αν εκφραστούμε πιο ελεύθερα το γεγονός A εμφανίζεται $N(A)$ φορές σε έναν αριθμό επαναλήψεων N , τότε μπορούμε να μιλήσουμε για τη συχνότητα εμφάνισης του A και η πιθανότητα πραγματοποίησης του θα ισούται με τη «σχετική συχνότητα» του A , δηλαδή: (Ρούσσας, 2011)

$$P(A) = f(A) = \frac{N(A)}{N}$$

Κατ' επέκταση, αν το γεγονός A έχει k άξονες ανάλυσης, δηλαδή έχει k σχετικές συχνότητες, τότε ορίζεται η έννοια της «σχετικής αθροιστικής συχνότητας» F που δίνεται από τον τύπο:

$$F(A) = \sum_{i=1}^n f_i \quad \text{με } i = 1, 2, \dots, k$$

Τέλος παραθέτουμε ένα τυπικό παράδειγμα, ενός πειράματος τύχης, ώστε ο αναγνώστης να κατανοήσει τους παραπάνω ορισμούς.

Παράδειγμα: (Σωτήραλης, 2011)

Μια εταιρεία τροφοδοσίας ηλεκτρικών προϊόντων πουλάει ένα προϊόν στους πελάτες της σε παρτίδες των 5 λίτρων. Η εταιρεία θέλει να μελετήσει την ποσότητα του προϊόντος σε κάθε παραγγελία. Από τα αρχεία της εταιρείας βρέθηκαν 120 πρόσφατες παραγγελίες αυτού του χημικού προϊόντος αι ο αριθμός των παρτίδων σε κάθε παραγγελία δίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

1	4	2	2	2	3	4	3	1	1	3	3
1	2	1	2	1	1	2	3	3	5	1	2
2	3	2	1	1	4	3	4	1	1	6	2
1	3	2	1	2	2	3	2	4	3	3	5
1	3	5	3	1	2	2	3	1	2	6	4
1	2	5	4	3	1	2	4	2	1	3	4
2	2	2	3	2	1	3	3	4	2	1	5
2	2	3	3	2	4	6	3	2	3	1	3
2	1	5	1	1	4	4	2	5	4	2	2
4	2	1	2	2	2	3	2	3	2	1	4

Εικόνα 8: Αριθμός παρτίδων σε δείγμα 120 παραγγελιών ενός προϊόντος.

Η τυχαία μεταβλητή X είναι ο αριθμός των παρτίδων του προϊόντος ανά παραγγελία. Τα δεδομένα του παραπάνω σχήματος είναι διακριτοί αριθμοί, από το 1 έως 6, τον ανώτατο αριθμό παρτίδων. Με κατάλληλη επεξεργασία μπορούν να οργανωθούν τα δεδομένα σε κατηγορίες μεγέθους παραγγελίας με βάση των αριθμό των παρτίδων.

Για να απαντηθούν ερωτήματα όπως: Ποιος αριθμός παρτίδων εμφανίζετε συχνότερα; Είναι περισσότερες οι παραγγελίες των 2 ή των 3 παρτίδων;, θα πρέπει να κατασκευασθεί ο λεγόμενος «Πίνακας Συχνοτήτων».

Πίνακας 1: Πίνακας συχνοτήτων παραδείγματος.

x_i (1)	f_i (2)	p_i (3)= $f_i/\sum f_i$	F_i (4)= $f_i + f_{i+1}$	P_i (5)= $p_i + p_{i+1}$
1	29	0.23	28	0.23
2	39	0.33	67	0.56
3	27	0.23	94	0.78
4	16	0.13	110	0.92
5	7	0.06	117	0.97
6	3	0.03	120	1.00
Sum	120	1.00	-	-

Όπου:

x_i : είναι ο αριθμός παρτίδων προϊόντος, με $i = 1, 2, \dots, 6$

f_i : είναι η συχνότητα εμφάνισης του x_i

p_i : είναι η σχετική συχνότητα του x_i

F_i : είναι η αθροιστική συχνότητα του x_i

P_i : είναι η σχετική αθροιστική συχνότητα του x_i

Έτσι, με βάση την παραπάνω ανάλυση μπορούμε να πούμε ότι, είναι πιο πιθανόν να έχουμε παραγγελία 2 παρτίδων προϊόντος από ότι παραγγελία 1, 3, 4, 5 ή 6 και ακόμα είναι πιο πιθανόν να έχουμε μια παραγγελία έως και 3 παρτίδων προϊόντων από ότι 4 και άνω.

2.2.2 Το Ιστόγραμμα - Κατανομές Τυχαίων Μεταβλητών

Για να απεικονισθεί το παραπάνω πρόβλημα σε ένα διάγραμμα, τότε αυτό θα ήταν το «Ιστόγραμμα» ή αλλιώς «Ραβδόγραμμα».

Στην στατιστική, το ιστόγραμμα είναι ίσως ο τύπος του γραφήματος που χρησιμοποιείται πιο συχνά. Το ιστόγραμμα (histogram) παρουσιάζει μια κατανομή συχνοτήτων για διακριτά ή συνεχή δεδομένα. Ο οριζόντιος άξονας παρουσιάζει τα αληθινά όρια των διαφόρων διαστημάτων. Τα αληθινά όρια ενός διαστήματος είναι τα σημεία που το διαχωρίζουν από τα διαστήματα αμφοτέρων πλευρών. Ο κάθετος άξονας παρουσιάζει είτε τη συχνότητα, είτε τη σχετική συχνότητα των παρατηρήσεων εντός κάθε διαστήματος. Το ύψος της στήλης αντιστοιχεί στη συχνότητα που σχετίζεται μ' αυτό το διάστημα.

Στη πραγματικότητα, η συχνότητα που έχει σχέση με κάθε διάστημα σε ένα ιστόγραμμα αντιπροσωπεύεται όχι από το ύψος της κάθε στήλης, αλλά από την επιφάνειά της. Η συνολική επιφάνεια του ιστογράμματος είναι ίση με τον αριθμό των δεδομένων (έχει άθροισμα 100% ή 1). Τα ιστογράμματα χρησιμοποιούνται για την εμφάνιση της πυκνότητας των δεδομένων και συχνά για την εκτίμηση της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της υποκειμενικής μεταβλητής.

Οι αριθμητικές τιμές πλήθους μετρήσεων μπορούν να καταταχθούν σε διαδοχικές κλάσεις (classes). Κάθε κλάση περιλαμβάνει τις μετρήσεις που βρίσκονται μεταξύ δύο οριακών τιμών, η διαφορά των οποίων (Δx) είναι κατά κανόνα η ίδια σε όλες τις κλάσεις. Το ποιος πρέπει να είναι ο αριθμός των κλάσεων - επομένως και τα εύρος τους, Δx - για ένα δεδομένο αριθμό

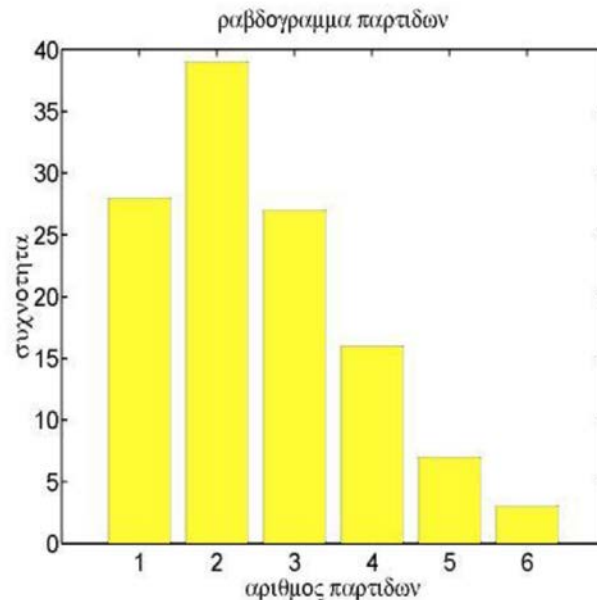
μετρήσεων , ρυθμίζεται από τον ερευνητή σύμφωνα με την πείρα του. Προφανώς , όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των κλάσεων, τόσο λιγότερες μετρήσεις θα περιλαμβάνονται σε κάθε μια εξ αυτών και ενδέχεται να μην υπάρχει ικανοποιητική απεικόνιση της κατανομής. Για μικρό αριθμό κλάσεων, ενώ πλέον θα υπάρχει ικανοποιητικός αριθμός μετρήσεων για κάθε κλάση, πάλι δε θα υπάρχει ικανοποιητική απεικόνιση της κατανομής.

Προς την κατεύθυνση της εύρεσης του καλύτερου αριθμού κλάσεων , υπάρχει ένας εμπειρικός κανόνας , ο κανόνας του Sturges , σύμφωνα με τον οποίο ο άριστος αριθμός κλάσεων για N μετρήσεις , είναι ο πλησιέστερος ακέραιος αριθμός προς τον αριθμό k που παρέχεται από την ακόλουθη σχέση:

$$k = 1 + 3,322 \cdot \log_{10} N$$

Η καμπύλη κατανομής (distribution curve) αποτελεί , σε γενικές γραμμές , την πληρέστερη απεικόνιση της στατιστικής κατανομής ενός πλήθους τιμών.

Έτσι λοιπόν το ιστόγραμμα του παραπάνω προβλήματος, φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα (Εικόνα 9).



Εικόνα 9:Αριθμός παρτίδων- Συχνότητα. Ιστόγραμμα του προβλήματος.

Η ποσότητα η οποία πραγματικά διευκολύνει τον υπολογισμό πιθανοτήτων που συνδέονται με μία τυχαία μεταβλητή X , και που θα μας απασχολήσει περισσότερο στην παρούσα εργασία, είναι η επονομαζόμενη «*Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας*» ή (σ.π.π.) της X και συμβολίζεται με $f(x)$.

Στο σημείο αυτό θα παραθέσουμε την εξίσωση υπολογισμού και τις ιδιότητες για την περίπτωση της διακριτής και της συνεχής τ.μ. X χωριστά.

$$\begin{array}{l} \text{Διακριτή τ.μ. } X \\ P(a < x < b) = \sum_a^b f(x) \end{array}$$

$$f(x) \geq 0$$

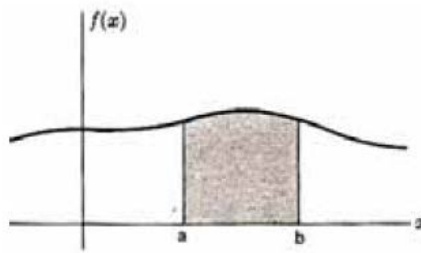
$$\sum_{-\infty}^{\infty} f(x) = 1$$

$$\begin{array}{l} \text{Συνεχής τ.μ. } X \\ P(a < x < b) = \int_a^b f(x)dx \end{array}$$

$$f(x) \geq 0$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1$$

Έτσι, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας μπορεί να παρασταθεί γραφικά με μια καμπύλη, όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα. Επίσης, επειδή, η καμπύλη δεν κατεβαίνει ποτέ κάτω από τον άξονα των xx' . Το εμβαδόν μεταξύ της καμπύλης και του άξονα των xx' ισούται με 1. Τέλος, η πιθανότητα να είναι η X μεταξύ των a και b παριστάνεται γεωμετρικά από το σκιασμένο εμβαδόν (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Γραφική παράσταση της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας.

Στη θεωρία πιθανοτήτων και τη στατιστική, η κατανομή των συχνοτήτων μιας τ.μ. X , ή καλύτερα η μορφή της σ.π.π. που εμφανίζεται στην πράξη μελετώντας φυσικά προβλήματα έχει μελετηθεί εκτενώς και η συνάρτηση που τείνει να αποτυπώσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τέτοιου είδους προβλήματα είναι η «Κατανομή Γάμμα» καθώς και μερικές παραλλαγές της.

Επιγραμματικά αναφέρονται :

Κατανομή Γάμμα

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha) \cdot \beta^\alpha} \cdot x^{\alpha-1} \cdot e^{-x/\beta} \quad , x > 0, \alpha > 0, \beta > 0$$

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} \cdot e^{-y} \cdot dy \quad , \alpha > 0$$

$$\text{Με, } EX = \alpha \cdot \beta, \text{Var}(X) = \alpha \cdot \beta^2, Mx(t) = \frac{1}{(1-\beta \cdot t)^\alpha}, t < \frac{1}{\beta}$$

Η κατανομή Γάμμα, αντλεί τη χρησιμότητα της κυρίως από το γεγονός ότι χρησιμοποιείται ευρέως σαν η κατανομή διάρκειας ζωής, τόσο για ζωντανούς, συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπων όσο και για υλικά εξαρτήματα.

Επίσης, εφαρμόζεται με επιτυχία για να χαρακτηρίσουμε την κατανομή του πλήθους των απαιτήσεων αποζημίωσης, τα οποία κατατίθενται σε μια ασφαλιστική εταιρεία από ασφαλισμένους, όπως και επίσης την κατανομή του μεγέθους των απαιτήσεων.

(Ρούσσας, 2011)

Χ² Κατανομή

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma\left(\frac{r}{2}\right) \cdot 2^{r/2}} \cdot x^{(r/2)-1} \cdot e^{-x/2} \quad , x > 0, r > 0$$

$$\text{Με, } EX = r, \text{Var}(X) = 2 \cdot r, Mx(t) = \frac{1}{(1-2 \cdot t)^{r/2}}, t < \frac{1}{2}$$

Αυτή η κατανομή χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένα προβλήματα στατιστικής συμπερασματολογίας, τα οποία περιλαμβάνουν σημειακή εκτίμηση, διαστήματα εμπιστοσύνης και έλεγχο υποθέσεων. (Ρούσσας, 2011)

Κανονική Κατανομή

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \quad , \sigma > 0$$

$$\text{Με, } EX = \mu, \text{Var}(X) = \sigma^2, Mx(t) = e^{(\mu \cdot t + \sigma^2 \mu^2 / 2)}$$

Η κανονική κατανομή είναι η κατεξοχήν πιο σημαντική κατανομή τόσο στην πιθανοθεωρία όσο και στη στατιστική. Η σημαντικότητα αυτή συνίσταται σε δύο βασικούς λόγους:

Πρώτον, πολλές παρατηρήσεις ακολουθούν, σε ένα αρκετά ικανοποιητικό βαθμό, την κανονική κατανομή. Όπως για παράδειγμα η κατανομή των ετήσιων εισοδημάτων σε μια μεγάλη κοινότητα. Ή η κατανομή του βάρους και ύψους ατόμων ενός μεγάλου πληθυσμού.

Δεύτερον, ανεξάρτητα από τις επιμέρους κατανομές κάποιων παρατηρήσεων, το άθροισμα ενός ικανοποιητικά μεγάλου πληθυσμού τέτοιων παρατηρήσεων, κάτω από πολύ χαλαρές συνθήκες, συμπεριφέρεται σε μεγάλο βαθμό σαν κανονική κατανομή. Η ιδιότητα αυτή αναφέρεται συχνά ως «*κανονική προσέγγιση*» ή «*Κεντρικό Οριακό Θεώρημα*». (Ρούσσας, 2011)

2.3 Περιγραφικά Μέτρα

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, ο πίνακας συχνοτήτων και το ιστόγραμμα, δίνουν μια συνοπτική παρουσίαση των δεδομένων και επιτρέπουν την ποιοτική μελέτη της κατανομής των συχνοτήτων.

Υπάρχουν, όμως, και ποσοτικά μεγέθη που περιγράφουν τα βασικά χαρακτηριστικά της κατανομής μιας τυχαίας μεταβλητής X και λέγονται «*συνοπτικά*» ή «*περιγραφικά μεγέθη*». Τα μέτρα αυτά, υπολογίζονται από τις παρατηρήσεις του δείγματος κι αποτελούν εκτίμηση κάποιας παραμέτρου της υπό-μελέτης κατανομής της τ.μ..

Τέτοια μέτρα είναι:

- Τα «*μέτρα θέσης*» («*measures of location*») που προσδιορίζουν χαρακτηριστικές θέσεις μέσα στο εύρος των δεδομένων και
- Τα «*μέτρα μεταβλητότητας*» («*variability measures*») που δίνουν περιληπτικά τη διασκόρπιση και μεταβλητότητα των δεδομένων.

2.3.1 Μέτρα θέσης

Τα μέτρα θέσης χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης ενός κεντρικού σημείου, γύρω από το οποίο το σύνολο των δεδομένων τείνει να συγκεντρώνεται πάνω στον οριζόντιο άξονα $οx$, εκφράζοντας την “κατά μέσο όρο” απόστασή τους από την αρχή των αξόνων.

Τα πιο συνηθισμένα μέτρα που χρησιμοποιούνται, είναι:

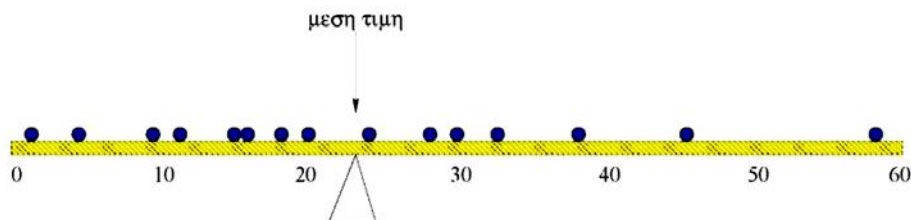
- ο «αριθμητικός μέσος» ή «μέση τιμή» (arithmetic mean or average),
- η «δειγματική διάμεσος» (sample median) και
- η «δειγματική επικρατούσα τιμή» (sample mode).

Έστω x_1, x_2, \dots, x_n οι δειγματικές τιμές ενός συνόλου n παρατηρήσεων μιας τ.μ. X . Τότε η μέση τιμή του δείγματος ή αλλιώς η μέση δειγματική τιμή ορίζεται ως:

$$\bar{x} = \frac{x_1, x_2, \dots, x_n}{n} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

Εύκολα θα μπορούσαμε να παρομοιάσουμε τη μέση τιμή ως το «κέντρο ισορροπίας» των δεδομένων. Το μηχανικό ανάλογο της μέσης τιμής, ώστε να γίνει εύκολα αντιληπτή η φυσική της σημασία, είναι το πρόβλημα εύρεσης ενός σημείου στήριξης.

Αν έχουμε μια αβαρή σανίδα, πάνω στην οποία ηρεμούν n βάρη ίδιας μάζας, κατανομημένα σε όλο το μήκος της σανίδας, με τυχαίο τρόπο, τότε η απόσταση του σημείου στήριξης από το ένα άκρο της σανίδας θα είναι μέση τιμή των αποστάσεων όλων των βαρών από το ίδιο άκρο. (Σωτήραλης, 2011)



Εικόνα 11: Μηχανικό ανάλογο της μέσης τιμής.

Πολλές φορές, οι μετρήσεις μιας τ.μ. X σε μία στατιστική μελέτη, ενδέχεται να εμπεριέχουν «ακραίες τιμές». Οι τιμές αυτές διαστρεβλώνουν την αντίληψη μας για την μέση τιμή, με αποτέλεσμα να πρέπει να ορίσουμε μια καινούργια έννοια που να μένει ανεπηρέαστη από ακραίες τιμές.

Έτσι λοιπόν, ως διάμεσος ορίζεται η κεντρική τιμή των δεδομένων, ή η μεσαία παρατήρηση, όταν αυτά τοποθετηθούν σε αύξουσα σειρά.

$$\bar{x} = \begin{cases} x_{(n+1)/2} & n = 2 \cdot k + 1 \\ \frac{x_{(n/2)} + x_{(1+n/2)}}{2} & n = 2 \cdot k \end{cases}$$

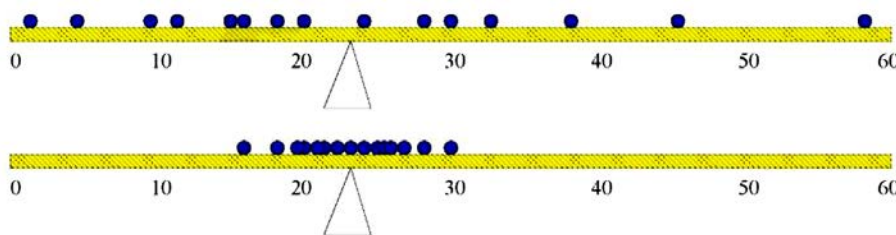
Τέλος, απλά αναφέρουμε πως η επικρατούσα δειγματική τιμή ορίζεται ως η τιμή που εμφανίζεται με τη μεγαλύτερη συχνότητα.

2.3.2 Μέτρο μεταβλητότητας

Τα μέτρα θέσης, που αναφέραμε στην προηγούμενη υπό-ενότητα, μας παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την κεντρική τάση των δεδομένων. Αυτό όμως δεν αρκεί για να γνωρίσουμε το κατά πόσο αυτή η τιμή είναι αντιπροσωπευτική του δείγματος. Δηλαδή, αν τα δεδομένα είναι συγκεντρωμένα γύρω από τη μέση τιμή ή όχι.

Επίσης, διαφορετικά σύνολα του ίδιου πληθυσμού μπορούν να έχουν το ίδιο μέτρο κεντρικής τάσης, αλλά να διαφέρουν οι κατανομές των μετρήσεων γύρω από τη μέση τιμή.

Με βάση το προηγούμενο παράδειγμα, παραθέτουμε στον αναγνώστη το μηχανικό ανάλογο των μέτρων μεταβλητότητας, στο ακόλουθο σχήμα (Εικόνα 12):



Εικόνα 12: Μηχανικό ανάλογο, δύο δειγμάτων ίσου πλήθους, με ίδια μέση τιμή και διαφορετική μεταβλητότητα.

Τα κυριότερα μέτρα μεταβλητότητας που θα αναφέρουμε είναι:

- Το «δειγματικό εύρος» (sample range) R ,
- Η «δειγματική διακύμανση ή διασπορά» (sample variance) s^2 και
- Η «δειγματική τυπική απόκλιση» (standard deviation) s

Ως δειγματικό εύρος των δεδομένων, ορίζεται η διαφορά της ελάχιστης τιμής του δείγματος από την μέγιστη.

$$R = x_{max} - x_{min}$$

Αν και δεν είναι αντιπροσωπευτικό μέτρο της μεταβλητότητας, καθώς εξαρτάτε μόνο από τις ακραίες τιμές του δείγματος, μας δίνει πληροφορίες για τον χώρο στον οποίο κινούνται τα δεδομένα.

Για να μετρήσουμε λοιπόν, τη μεταβλητότητα των παρατηρήσεων, ή καλύτερα όπως αναφέραμε παραπάνω την συγκέντρωση των δεδομένων γύρω από τη μέση τιμή, αρκεί να υπολογίσουμε την απόκλιση κάθε τιμής x_i από τη μέση τιμή \bar{x} , δηλαδή τη διαφορά $x_i - \bar{x}$.

Όμως το άθροισμα όλων των αποκλίσεων είναι εξ' ορισμού 0. Για τον λόγο αυτόν, ορίζουμε ως διασπορά ή διακύμανση, το αποτέλεσμα της διαίρεσης του αθροίσματος των τετραγώνων των αποκλίσεων προς το σύνολο των μετρήσεων.

$$s^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i^2 - \bar{x})^2$$

Η διακύμανση είναι μια αξιόπιστη παράμετρος διασποράς, αλλά έχει ένα σημαντικό μειονέκτημα. Δεν εκφράζεται με τις μονάδες με τις οποίες εκφράζονται οι παρατηρήσεις.

Για τον λόγο αυτό ορίζουμε την έννοια της τυπικής απόκλισης, ως τη θετική τετραγωνική ρίζα της διασποράς.

$$s = \sqrt{s^2}$$

Έτσι η τυπική απόκλιση μετριέται με τη μονάδα μέτρησης της τ.μ. X κι εκφράζει την απόκλιση των δεδομένων από τη μέση τιμή.

2.4 Μη παραμετρικές μέθοδοι

Στην περίπτωση που τα δεδομένα μας κατανέμονται με διαφορετικό τρόπο από αυτόν που προτάσσει η κανονική κατανομή, τότε χρησιμοποιούνται μη παραμετρικές μέθοδοι. Σ' αυτές, λαμβάνονται υπόψη οι κατανομές των παρατηρήσεων και όχι οι πραγματικές τιμές τους. Με τον τρόπο αυτό, δίνεται η δυνατότητα στον ερευνητή να αξιολογήσει την ορθότητα των δεδομένων, τα οποία πρόκειται να μελετήσει εκ των προτέρων, ώστε να αποφύγει τυχόν σφάλματα κατά τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων.

Ο έλεγχος αυτός γίνεται με τα επονομαζόμενα υποθετικά τεστ «*hypothesis tests*». Τα μη παραμετρικά αυτά τεστ δεν απαιτούν τα δεδομένα να ταιριάζουν με μια συγκεκριμένη κατανομή. Γενικότερα, απαιτούν πιο ελεύθερους όρους για την εφαρμογή τους και επιτρέπουν την ανάλυση κατηγορηματικών δεδομένων κατάταξης.

Η εφαρμογή τους, επιτρέπει τη μελέτη τυχαίων παρατηρήσεων ενός δείγματος, αποφεύγοντας τους περιορισμούς των τυποποιημένων κατανομών. Η ευκολία χρήσης, η αποτελεσματικότητά τους καθώς και παροχή ενδείξεων συσχέτισης των μεταβλητών του πληθυσμού αποτελούν θετικά χαρακτηριστικά των μεθόδων αυτών.

Στην περίπτωσή μας οι ιδιότητες αυτές είναι πολύ σημαντικές και χρήσιμες, καθώς οι τιμές που λαμβάνουν οι μεταβλητές που χρησιμοποιούμε όπως για παράδειγμα η ηλικία ή ο τύπος του ατυχήματος των πλοίων, είναι καθαρά τυχαίες αφού προέρχονται από παρατήρηση.

Παρακάτω, αναφέρεται επιγραμματικά η μέθοδος του κριτηρίου χ^2 , το οποίο χρησιμοποιήθηκε για κάθε παράμετρο που μελετήσαμε στην παρούσα διπλωματική εργασία, παρά το γεγονός ότι τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται.

2.4.1 χ^2 – Statistic Test

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα υποθετικά τεστ εξετάζουν τη συσχέτιση μεταξύ δύο μεταβλητών, χωρίς να είναι απαραίτητο οι τιμές των μεταβλητών αυτών να ακολουθούν κάποια συγκεκριμένη κατανομή.

Η εφαρμογή απαιτεί μια αρχική υπόθεση (null hypothesis) που συμβολίζεται συνήθως με H_0 και είναι μια υπόθεση της μορφής Αληθές ή Ψευδές (True or False). Ο σκοπός είναι να ελέγξει την ισχύ της αρχικής υπόθεσης με βάση τις τιμές του δείγματος. Ανάλογα με τις τιμές αυτές, η αρχική υπόθεση μπορεί είτε να γίνει αποδεκτή είτε να απορριφθεί.

Ως μηδενική υπόθεση ορίζεται εκείνη που επιθυμεί ο ερευνητής να απορρίψει. Φυσικά και ο κανόνας επιλογής της μηδενικής υπόθεσης είναι εμπειρικός και δεν μπορεί να αποδειχθεί επιστημονικά

Στην κατηγορία των hypothesis test ανήκουν και τα Chi - square (χ^2) tests , τα οποία είναι κατάλληλα για περιπτώσεις όπου έχουμε διακριτές τιμές οι οποίες δύνανται να ταξινομηθούν σε διαφορετικές κατηγορίες. Αυτά, υπολογίζουν αν οι τιμές του δειγματικού χώρου, ταξινομημένες στις διάφορες κατηγορίες, διαφέρουν σημαντικά από τις συχνότητες που θα περιμέναμε να έχουμε, κάτω από μια σειρά συγκεκριμένων υποθέσεων και θεωρήσεων. Για ένα τέτοιο test , χρησιμοποιούμε ως εργαλείο η ελεγκοσυνάρτηση που δίνετε από τον ακόλουθο τύπο:

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

Όπου,

O_i : Το πλήθος των τιμών από παρατήρηση για την κατηγορία i .

E_i : Το πλήθος των θεωρητικών ή αναμενόμενων τιμών για την κατηγορία i .

k : Όλες οι κατηγορίες στις οποίες ταξινομήσαμε τα δεδομένα.

Όταν οι τιμές των δεδομένων σε κάθε κατηγορία είναι παρόμοιες με τις αναμενόμενες, τότε η κατανομή του δείγματος προσεγγίζει την χ^2 κατανομή, που ανήκει στην οικογένεια κατανομών με μια μόνο παράμετρο, τον βαθμό ελευθερίας (degree of freedom).

Η γενική διαδικασία του κριτηρίου, περιλαμβάνει τη λήψη τιμών από παρατήρηση (observed values), τον υπολογισμό των θεωρητικών τιμών (expected values) και εν συνεχεία τη χρήση της παραπάνω συνάρτησης. Η τιμή που υπολογίζεται μ' αυτόν τον τρόπο τίθεται σε σύγκριση με την τιμή της χ^2 κατανομής.

Η υπόθεση H_0 απορρίπτεται όταν,

$$\chi^2_{test} > \chi^2_{\alpha, \nu}$$

όπου χ^2_{test} είναι η τιμή που υπολογίζεται από το Chi - square statistic test και $\chi^2_{\alpha, \nu}$ η κρίσιμη τιμή (critical value) για συγκεκριμένο επίπεδο σημαντικότητας (level of significance) α και βαθμούς ελευθερίας ν .

Βασικές προϋποθέσεις για το κριτήριο χ^2 είναι:

- Ανεξάρτητος δειγματικός χώρος.
- Διακριτές κατηγορίες, δηλαδή κάθε μια τιμή του δείγματος να αντιστοιχεί σε μία και μόνο κατηγορία.
- Πλήρης λίστα κατηγοριών, δηλαδή οι m κατηγορίες να περιλαμβάνουν όλες τις τιμές του δειγματικού χώρου.
- Όλες οι m κατηγορίες πρέπει να περιλαμβάνουν τουλάχιστον μια τιμή του δειγματικού χώρου.

2.4.2 Εφαρμογή του χ^2 στα δεδομένα.

Στο παρόν υπό εδάφιο παρουσιάζεται η συνοπτικά η εφαρμογή του Hypothesis test για μερικές κατηγορίες των δεδομένων. Σημειώνεται πως κατά τον πρωταρχικό έλεγχο των δεδομένων έχει γίνει εφαρμογή για όλους τους άξονες μελέτης.

Ως πρώτη εφαρμογή επιλέγεται η σύνδεση της ηλικίας του πλοίου με τον αριθμό των ατυχημάτων που έχει υποστεί.

Επομένως ως αρχική υπόθεση λαμβάνεται η :

H₀ : Ηλικία πλοίου & αριθμός ατυχημάτων είναι ανεξάρτητα

Έτσι σύμφωνα με τα παραπάνω, τα δεδομένα θα είναι της μορφής:

Year of Build	# of Casualties		
	O	E	χ^2
0-5	4918	4665.6	13.65436
6-10	5895	4665.6	323.9507
11-15	6047	4665.6	409.0076
16-20	4049	4665.6	81.4891
>20	2419	4665.6	1081.793
Total	23328		

Με 4 βαθμούς ελευθερίας και $\chi^2=1909,894$, προκύπτει P-value=0 άρα απορρίπτεται η αρχική υπόθεση και υπάρχουν σοβαρές ενδείξεις για την

H₁ : Ηλικία πλοίου & αριθμός ατυχημάτων **δεν** είναι ανεξάρτητα

Με παρόμοιο τρόπο αποδεικνύεται η σύνδεση του έτους κατασκευής με τον αριθμό των πλοίων που έχουν υποστεί ατύχημα.

Επομένως ως αρχική υπόθεση λαμβάνεται η :

H₀ : Έτος κατασκευής & αριθμός πλοίων με ατύχημα είναι ανεξάρτητα

Με 70 βαθμούς ελευθερίας και $\chi^2=3788,921$, προκύπτει P-value=0 άρα απορρίπτεται επίσης η αρχική υπόθεση και υπάρχουν σοβαρές ενδείξεις για την

H₁ : Έτος κατασκευής & αριθμός πλοίων με ατύχημα **δεν** είναι ανεξάρτητα

Έτσι σύμφωνα με τα παραπάνω, τα δεδομένα θα είναι της μορφής:

Year of Build	# of Ships w/o Casualties			# of Ships with Casualties			Fleet
	O	E	x^2	O	E	x^2	
1945	38	48.89898	2.429249	47	36.10102	3.290428	85
1946	14	10.93036	0.862065	5	8.069639	1.167671	19
1947	5	7.478668	0.821509	8	5.521332	1.112738	13
1948	6	8.629232	0.801098	9	6.370768	1.085091	15
1949	4	18.40903	11.27817	28	13.59097	15.27632	32
1950	18	31.64052	5.880552	37	23.35948	7.965233	55
1951	13	37.96862	16.41966	53	28.03138	22.24051	66
1952	23	51.77539	15.9926	67	38.22461	21.66205	90
1953	31	82.26535	31.94706	112	60.73465	43.27242	143
1954	31	102.9755	50.30782	148	76.0245	68.14215	179
1955	34	94.34627	38.59901	130	69.65373	52.28252	164
1956	36	91.46986	33.63846	123	67.53014	45.56344	159
1957	63	120.8092	27.66269	147	89.19075	37.46923	210
1958	56	147.8475	57.05855	201	109.1525	77.28605	257
1959	65	147.8475	46.42425	192	109.1525	62.88184	257
1960	76	129.4385	22.062	149	95.56152	29.88307	225
1961	130	146.1217	1.77871	124	107.8783	2.40927	254
1962	67	108.153	15.65904	121	79.84696	21.21024	188
1963	52	92.62042	17.81485	109	68.37958	24.13029	161
1964	82	135.7666	21.29276	154	100.2334	28.84114	236
1965	101	149.5734	15.774	159	110.4266	21.36596	260
1966	78	130.0138	20.80881	148	95.98624	28.18562	226
1967	75	105.2766	8.707292	108	77.72337	11.79406	183
1968	110	140.9441	6.793747	135	104.0559	9.202159	245
1969	157	186.9667	4.803009	168	138.0333	6.505696	325
1970	100	149.5734	16.43018	160	110.4266	22.25475	260
1971	145	172.5846	4.408923	155	127.4154	5.971905	300
1972	83	124.2609	13.70073	133	91.73906	18.55769	216
1973	85	158.2026	33.87188	190	116.7974	45.8796	275
1974	110	197.8971	39.03996	234	146.1029	52.87978	344
1975	97	212.2791	62.60283	272	156.7209	84.7958	369
1976	115	193.8701	32.08587	222	143.1299	43.46044	337
1977	105	160.5037	19.19371	174	118.4963	25.99797	279
1978	87	120.234	9.186227	122	88.76603	12.44278	209
1979	105	131.1643	5.219194	123	96.83567	7.06942	228
1980	111	134.616	4.143017	123	99.38398	5.611733	234
1981	92	128.8632	10.54526	132	95.1368	14.28359	224
1982	83	109.3036	6.329889	107	80.69639	8.573861	190
1983	88	89.74401	0.033892	68	66.25599	0.045907	156
1984	88	86.8676	0.014762	63	64.1324	0.019995	151
1985	103	93.19571	1.031423	59	68.80429	1.397067	162
1986	69	75.93724	0.633751	63	56.06276	0.858419	132
1987	93	89.16873	0.164616	62	65.83127	0.222973	155
1988	103	89.16873	2.145416	52	65.83127	2.905975	155
1989	90	86.8676	0.112953	61	64.1324	0.152995	151
1990	85	78.23837	0.584363	51	57.76163	0.791523	136
1991	110	97.22268	1.679237	59	71.77732	2.274533	169
1992	145	128.8632	2.020719	79	95.1368	2.737073	224
1993	197	157.6273	9.834648	77	116.3727	13.32107	274
1994	158	123.6857	9.519891	57	91.31434	12.89473	215
1995	138	107.5778	8.603198	49	79.42224	11.65307	187
1996	114	85.71704	9.332169	35	63.28296	12.64046	149
1997	76	61.55519	3.389683	31	45.44481	4.59134	107
1998	110	79.96422	11.2819	29	59.03578	15.28138	139
1999	133	96.07212	14.19422	34	70.92788	19.22613	167
2000	121	88.59345	11.85398	33	65.40655	16.05626	154
2001	106	75.36196	12.45575	25	55.63804	16.87136	131
2002	143	101.2497	17.21577	33	74.75034	23.31884	176
2003	222	151.2992	33.03787	41	111.7008	44.74993	263
2004	196	140.3688	22.04781	48	103.6312	29.86385	244
2005	227	154.1756	34.39838	41	113.8244	46.59275	268
2006	223	147.8475	38.20083	34	109.1525	51.74318	257
2007	279	183.515	49.68196	40	135.485	67.29442	319
2008	282	179.488	58.54822	30	132.512	79.30381	312
2009	381	235.2904	90.23441	28	173.7096	122.2229	409
2010	318	196.1712	75.6597	23	144.8288	102.4814	341
2011	315	188.6925	84.54799	13	139.3075	114.5206	328
2012	355	209.978	100.16	10	155.022	135.6671	365
2013	289	172.0094	79.57015	10	126.9906	107.7781	299
2014	185	108.153	54.60276	3	79.84696	73.95967	188
2015	135	78.81365	40.05531	2	58.18635	54.25509	137
Total		8360			6172		14532

Κεφάλαιο 3: Βάση δεδομένων – Παρούσα έρευνα

3.1 Εισαγωγή

Περίπου το 70% της επιφάνειας του πλανήτη μας, καλύπτεται από νερό. Θαλάσσιοι οδοί, συνδέουν το μεγαλύτερο ποσοστό των χωρών ενώ, ταυτόχρονα το θαλάσσιο εμπόριο αποτελεί πάνω από το 85% του συνολικού εμπορίου.

Κάθε μέρα, εκατοντάδες ναυτιλιακές εταιρείες ανταγωνίζονται η μία την άλλη, προσπαθώντας να εκμεταλλευτούν όσο το δυνατόν περισσότερο τα πλοία και τα πληρώματά τους. Χιλιάδες πλοία ανά τον κόσμο, συγκεντρώνονται έξω από μεγάλα θαλάσσια εμπορικά κέντρα. Πληρώματα κουρασμένα, από τα πολύμηνα ταξίδια και τις ατελείωτες βάρδιες από την έλλειψη προσωπικού, επαναλαμβάνουν τις ίδιες διαδικασίες ρισκάροντας, κάθε μέρα τη ζωή τους. Και τότε έρχεται το λάθος. Ένα λάθος που πρώτα μετριέται σε ανθρώπινες ζωές, εν συνεχεία σε διαστάσεις οικολογικής καταστροφής και τελικά μεταφράζεται σε χρηματικές μονάδες και αφήνεται στην άκρη με τον όρο «*ναυτικό ατύχημα*». Ένα ατύχημα, που εύκολα μπορεί να χρεώσει κάποιος στον ανθρώπινο παράγοντα. Και μιλώντας για ανθρώπινο παράγοντα, αναφερόμαστε στους ανθρώπους πάνω στο πλοίο. Είναι όμως ηθικά ορθό οι ναυτικοί, οι οποίοι ρισκάρουν τη ζωή τους, στο τέλος να τους βαραινούν οι κατηγορίες του λάθους.

Όπως είδαμε στο γράφημα του προηγούμενου κεφαλαίου, με βάση τα δεδομένα που συλλέξαμε και επεξεργαστήκαμε, οι κανονισμοί για τη διαμόρφωση της γάστρας, με σκοπό τη μείωση της εκροής φορτίου και σημαντικότερα τη μείωση εκροής πετρελαίου, συνέβαλαν σημαντικά και οδήγησαν σε σχεδόν ολοκληρωτική εξάλειψη του φαινομένου.

Μια τέτοια πρόοδος δεν θα ήταν δυνατή, αν πρώτα δεν γνωρίζαμε το μέγεθος του προβλήματος. Ερευνητές απ' όλον τον κόσμο, μελετούν τα ναυτικά ατυχήματα, προσπαθώντας να δώσουν λύση, συσχετίζοντας όσο το δυνατόν περισσότερες πιθανές μεταβλητές. Ήδη διάφοροι αυτοματισμοί, όπως συστήματα πλοήγησης ή συστήματα αυτόματου ελέγχου, μειώνουν, όλο και περισσότερο, το ποσοστό του ανθρώπινου παράγοντα.

Όμως, για να λυθεί ένα πρόβλημα ολοκληρωτικά, πρέπει να γνωρίζουμε όλους τους παράγοντες και όπως θα δούμε στη συνέχεια πολλές φορές αυτό δεν είναι εφικτό.

3.2 Προβλήματα

Ιστορικά, η συστηματική καταγραφή των ναυτικών ατυχημάτων ξεκινά με την εισαγωγή των ασφαλιστικών εταιρειών στο χώρο της ναυτιλίας. Μια ασφαλιστική εταιρεία αναλαμβάνει το ρίσκο αποπληρωμής του συνολικού κόστους του ατυχήματος. Για να μπορέσει να εκτιμήσει το ρίσκο που αναλαμβάνει, καθώς και να το κοστολογήσει, θα πρέπει τουλάχιστον να γνωρίζει τη συχνότητα εμφάνισης των ατυχημάτων. Πράγμα, που όπως περιγράψαμε, προϋποθέτει την καταγραφή των ατυχημάτων (Νομικός, 2012).

Ως πλέον το πιο βασικό πρόβλημα στη μελέτη των ναυτικών ατυχημάτων, η καταγραφή ξεκινά από τους άμεσα ενδιαφερόμενους, το πλήρωμα του σκάφους. Σε πολλές περιπτώσεις το πλήρωμα δεν ενημερώνει την πλοιοκτήτρια εταιρεία για δευτερεύοντα προβλήματα που προκύπτουν στην καθημερινή λειτουργία του πλοίου. Είτε γιατί τα θεωρούν ασήμαντα, είτε γιατί προκύπτουν από αμέλεια του ίδιου του πληρώματος (Νομικός, 2012).

Από την άλλη μεριά, οι ναυτιλιακές εταιρείες αντιμετωπίζουν τα προβλήματα αυτά ως ψεγάδια στην αντικειμενική αξία του πλοίου, και όπως περιγράφεται στο παρακάτω παράδειγμα στη διπλωματική εργασία του κ. Αντώνιου Νομικού, προτιμούν να τα αποκρύψουν (Νομικός, 2012).

Το 1986, αγοράστηκε ένα βρετανικό VLCC και το ονομάστηκε «THE STATE». Το μητρώο του πλοίου ήταν απόλυτα καθαρό. Ωστόσο γρήγορα έγινε φανερό ότι το μηχανοστάσιό του ήταν σκέτη καταστροφή. Η μια βλάβη διαδεχόταν την άλλη. Το σύστημα ελέγχου της γεννήτριας ήταν τόσο ασταθές και επιρρεπές σε διακοπές ρεύματος, που κατέληξε να απενεργοποιηθεί το σύστημα αυτομάτου ελέγχου, μία εξαιρετικά επικίνδυνη κίνηση. Το χειρότερο πρόβλημα του πλοίου ήταν τα απότομα κλεισίματα των κύριων βαλβίδων για ελιγμούς πλώρης, με αποτέλεσμα για 10 έως 12 ώρες να παραμένει αδρανές. Αυτό συνέβη τέσσερις φορές σε λιγότερο από δύο χρόνια που ήταν υπό την κυριότητά μας. Κανένα από τα προβλήματα αυτά δεν αναφέρθηκαν στην Κλάση. Όταν πουλήθηκε το 1988, δεν υπήρχαν καταγραφές για βλάβες (Ρούσσας, 2011).

Παράλληλα, όταν ο Νηογνώμονας ή οι ασφαλιστές λάβουν γνώση για το ατύχημα, τα δεδομένα αυτά είναι με βάση το συμβόλαιο εμπιστευτικά, πράγμα που δυσκολεύει ακόμα περισσότερο τις γραφειοκρατικές διαδικασίες για την ενημέρωση της σημαίας – κράτους, και εκείνη με τη σειρά της να ενημερώσει τον IMO (Νομικός, 2012).

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η πλειονότητα των διαφόρων πληροφοριών σχετικά με τα ατυχήματα, να δεσμεύονται σε ιδιωτικές βάσεις δεδομένων με προσβασιμότητα μόνο από μέλη που έχουν καταβάλει το αντίστοιχο χρηματικό ποσό και έχει αποδεχθεί τους περιορισμούς για τη χρήση και την αναπαραγωγή τους. Αφήνοντας έτσι, σεβαστή μερίδα της επιστημονικής κοινότητας, εκτός λόγω έλλειψης χρηματοδότησης (Ρούσσας, 2011).

Εφόσον πλέον γίνει η αναφορά σε κερδοσκοπική διάθεση των πληροφοριών, οφείλεται να σχολιασθεί η αντικειμενικότητα των πληροφοριών αυτών, δηλαδή κατά πόσο ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα και δεν είναι διαστρεβλωμένες από συμφέροντα άλλων επιχειρήσεων (Νομικός, 2012).

Αν για παράδειγμα, ένα ελλατωματικό κομμάτι ενός κινητήρα, αστοχήσει και αχρηστεύσει τον κινητήρα κατά τη διάρκεια ελιγμού, πράγμα το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε σύγκρουση του σκάφους. Στη συνέχεια, αν η κατασκευάστρια εταιρεία επιλέξει, αντί να δυσφημιστεί και ενδεχομένως να έχει πτώση στις πωλήσεις της, να αποκρύψει την πληροφορία αυτή εξαγοράζοντας την. Τότε, γίνεται εύκολα αντιληπτό πως αν κάποιος μελετήσει τις συγκρούσεις εμπορικών πλοίων, καθώς και τον λόγο που αυτές συνέβησαν, είναι πιθανόν να τα στοιχεία του να μην επαρκούσαν ώστε να καταλήξει στην παραπάνω ακολουθία γεγονότων (Νομικός, 2012).

Η παραπάνω υπόθεση, καθώς και παρόμοιες σαν κι αυτή, θα μπορούσαν να είχαν αποφευχθεί, αν οι βάσεις δεδομένων ήταν ανοιχτές στο κοινό και μπορούσε ο καθένας, όπως πλήρωμα, διασώστες, εμπειρογνώμονες κτλ., να υποβάλουν τις ενστάσεις τους (Ηλιοπούλου, 2006).

Επέκταση του παραπάνω προβλήματος αποτελεί ο τρόπος τον οποίο τα δεδομένα καταγράφονται και ταξινομούνται. Συνήθως, οι βάσεις δεδομένων των ναυτικών ατυχημάτων, εμπεριέχουν μόνο το κυρίως συμβάν («*main casualty type*»), ενώ παραλείπουν να αναφέρουν την αρχική αιτία («*initial cause*») ή τα ενδιάμεσα στάδια (Νομικός, 2012).

Στον πραγματικό κόσμο, μια ακολουθία της μορφής «μηχανική βλάβη», «έκρηξη», «πυρκαγιά», «σύγκρουση», «προσάραξη», αν και φαντάζει αδύνατη, είναι πιο πιθανή από ότι ένας εκπαιδευμένος καπετάνιος, με τουλάχιστον 10 χρόνια εμπειρίας και ένα σύνολο βοηθητικών αυτοματισμών, έριξε το σκάφος στα βράχια (Ρούσσας, 2011).

Στόχος της επιστήμης και κατ' επέκταση της τεχνολογίας, είναι η λύση προβλημάτων ειδικότερα όταν αυτά στοιχίζουν ανθρώπινες ζωές ή καταστρέφουν το περιβάλλον. Πράγμα που δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς τον εντοπισμό και την ανάλυση του. Η επιστημονική κοινότητα, χρειάζεται αντικειμενικά δεδομένα, απαιτεί ορθή καταγραφή και ελεύθερη πρόσβαση, καθώς σκοπός της είναι η αποφυγή ατυχημάτων και όχι η διαφήμιση της λύσης αυτών (Νομικός, 2012).

3.3 Η βάση δεδομένων μας

Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η IHS Sea-Web. Είναι μια ιδιωτική βάση με ετήσια συνδρομή για τους χρήστες της. Η βάση αυτή έχει διάφορες λειτουργίες και κατηγορίες, που όμως δεν θα αναφερθούμε.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση των ναυτικών ατυχημάτων. Για τον λόγο αυτό, επικεντρωνόμαστε στη βάση δεδομένων του στόλου ή «*Fleet at Risk*» και στη βάση δεδομένων των ατυχημάτων ή «*Casualties*».

Αντικείμενο μελέτης, θα είναι η κατηγορία πλοίων που μεταφέρει υγρό φορτίο, δηλαδή τα «*Tanker Ships*», χωρίς την υποκατηγορία των πλοίων μεταφοράς χημικού φορτίου «*Chemical Tankers*».

Τέλος, ως αρχικό διάστημα μελέτης θα ορίσουμε 71 χρόνια. Δηλαδή θα μελετήσουμε πλοία με έτος κατασκευής από το 1945 μέχρι και το 2015.

3.4 Πληρότητα δεδομένων

Τα δεδομένα εξάγονται από την διαδικτυακή βάση σε μορφή πίνακα excel, όπου κάθε γραμμή του πίνακα, αφορά ένα συγκεκριμένο πλοίο ή καλύτερα ένα δεδομένο, ενώ κάθε κελί στην ίδια γραμμή περιέχει την πληροφορία ανάλογα με την στήλη στην οποία βρίσκεται.

Στο παρόν εδάφιο θα αναφέρουμε όλες τις κατηγορίες των δεδομένων που θα μελετήσουμε καθώς και την πληρότητα που αυτές παρουσιάζουν.

Ένα παράδειγμα, μιας τυπικής εξαγωγής ενός δεδομένου-πλοίου είναι η ακόλουθη:

Πίνακας 2: Τυπικό παράδειγμα εξαγωγής δεδομένων.

LR/IMO Ship No.	Name of Ship	Built (MM)	Built (YYYY)	Retirement (MM)	Retirement (YYYY)	Country of Build	Flag	Ship Type Group	Ship Type	Hull Type	Status
8500874	SHE	11	1986	10	2009	Chinese Taipei	Mongolia	Tanker-Aframax	Crude Oil Tanker	Single Hull	Broken Up

Όπου:

- LR/IMO Ship No.:** Ο κωδικός του πλοίου.
- Name of Ship:** Το όνομα του πλοίου.
- Built (MM):** Ο μήνας κτίσεως του πλοίου.
- Built (YYYY):** Το έτος κτίσεως του πλοίου.
- Retirement (MM):** Ο μήνας απόσυρσης του πλοίου.
- Retirement (YYYY):** Το έτος απόσυρσης του πλοίου.
- Country of Build:** Η χώρα κατασκευής του πλοίου.
- Flag:** Η πιο πρόσφατη σημαία του πλοίου.
- Ship Type Group:** Η κατηγορία μεγέθους του πλοίου.
- Ship Type:** Η κατηγορία φορτίου του πλοίου.
- Hull Type:** Ο τύπος της γάστρας του πλοίου.
- Status:** Η κατάσταση στην οποία βρίσκεται το πλοίο.

Πίνακας 3: Πληρότητα στοιχείων των δεδομένων μας.

Built (MM)	Retirement (MM)	Retirement (YYYY)	Country of Build	Flag	Ship Type Group	Ship Type	Hull Type
(MM)	(MM)	(YYYY)	(Yes)	(Yes)	(Yes)	(Yes)	(Yes)
12.819	6.401	6.834	14.475	14.021	5.733	10.025	6.671
(00)	(00)	(0000)	(No)	(No)	(No)	(No)	(No)
1.713	8.131	7.698	57	511	8.799	4.507	7.861
%	%	%	%	%	%	%	%
88.21%	44.05%	47.03%	99.61%	96.48%	39.45%	68.99%	45.91%

Το σύνολο των δεδομένων-πλοίων που περιέχει η βάση μας Fleet at Risk ανέρχεται στα 14.532 πλοία. Από αυτά, όπως μπορούμε να διακρίνουμε στο παραπάνω πίνακα (Πίνακας 4):

- 1.713 πλοία δεν περιέχουν μήνα κατασκευής (Built (MM))
- 7.698 πλοία δεν περιέχουν έτος απόσυρσης (Retirement (YYYY)), και αυτό είτε γιατί λειτουργούν ακόμα, είτε γιατί ανήκουν σε μουσεία.
- 433 πλοία δεν περιέχουν μήνα απόσυρσης (Retirement (MM))
- 8.799 πλοία δεν περιέχουν κατηγορία μεγέθους (Ship Type Group), και αυτό γιατί ανήκουν σε μικρότερη κατηγορία μεγέθους από τις κατηγορίες που ορίζει η Sea-Web.
- 4.507 πλοία δεν περιέχουν κατηγορία είδους φορτίου (Ship Type), και η βάση τα αναφέρει ως «*Tanker Unspecified*»
- 7.861 πλοία δεν περιέχουν είδος γάστρας (Hull Type), αφορούν, όμως πλοία με έτος κτήσεως πολύ πριν την ύπαρξη των κανονισμών. Για τον λόγο αυτόν, θα τα θεωρήσουμε ως «*Single Hull*»

Πίνακας 4: Κατανομή των δεδομένων ανά έτος κτήσεως.

Year	# of Ships	Year	# of Ships	Year	# of Ships
1945	85	1969	325	1993	274
1946	19	1970	260	1994	215
1947	13	1971	300	1995	187
1948	15	1972	216	1996	149
1949	32	1973	275	1997	107
1950	55	1974	344	1998	139
1951	66	1975	369	1999	167
1952	90	1976	337	2000	154
1953	143	1977	279	2001	131
1954	179	1978	209	2002	176
1955	164	1979	228	2003	263
1956	159	1980	234	2004	244
1957	210	1981	224	2005	268
1958	257	1982	190	2006	257
1959	257	1983	156	2007	319
1960	225	1984	151	2008	312
1961	254	1985	162	2009	409
1962	188	1986	132	2010	341
1963	161	1987	155	2011	328
1964	236	1988	155	2012	365
1965	260	1989	151	2013	299
1966	226	1990	136	2014	188
1967	183	1991	169	2015	137
1968	245	1992	224	Sum	14532

Στον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 4), μπορούμε να διακρίνουμε την κατανομή των δεδομένων ανά έτος κτήσεως. Έτσι για το πρώτο στάδιο της αρχικής μας μελέτης, σε βάθος 71 χρόνων, θα διαχειριστούμε 14.532 δεδομένα. Ενώ, σ' ένα δεύτερο στάδιο, που θα επικεντρωθούμε κυρίως στην περίοδο μετά καθιέρωση των κανονισμών, από το 1985 ως το 2015, περίοδος

31 χρόνων, θα διαχειριστούμε 6.713 δεδομένα, ποσοστό 46.19% του αρχικού μας πληθυσμού.

3.5 Προβλήματα και τρόποι αντιμετώπισης

Με αφορμή το μέγεθος του όγκου των δεδομένων που καλούμαστε να μελετήσουμε, όλες οι μετρήσεις και αναλύσεις, έγιναν με προγράμματα που σχεδιάσαμε σε κώδικα Matlab. Για να γίνει εφικτό αυτό, τα δεδομένα έπρεπε να υποστούν κατάλληλη επεξεργασία πριν εισέλθουν στα προγράμματα ανάλυσης.

Αν και δεν θα αναφερθούμε καθόλου στο σχεδιασμό των προγραμμάτων αυτών, αξίζει να σχολιάσουμε μερικά προβλήματα που αντιμετωπίσαμε κατά την ανάλυση μας.

Η έλλειψη δεδομένων, όσο μικρή και να είναι, δεν μας επιτρέπει τον σωστό προσδιορισμό των μεταβλητών μας. Έτσι, το μικρότερο χρονικό διάστημα που μπορούμε να εστιάσουμε, ενεργώντας σε ολόκληρο τον πληθυσμό, είναι το 1 έτος. Αν για παράδειγμα, ένα πλοίο κατασκευάστηκε τον 1 μήνα του 2000 και αποσύρθηκε τον 8 μήνα του 2000, η διάρκεια ζωής του θα είναι 1 έτος και όχι 8 μήνες. Το πρόβλημα αυτό, οφείλεται στα δεδομένα που δεν περιέχουν στοιχεία για τον μήνα κατασκευής, απόσυρσης και ατυχήματος. Αν και μπορούμε να μειώσουμε το χρονικό διάστημα από το 1 έτος, στους 6 μήνες, επιλέγουμε να μην το κάνουμε. Αυτό γιατί η διάρκεια ζωής κατά μέσο όρο ξεπερνά τα 30 χρόνια, διάστημα αρκετά μεγάλο για να έχουμε υποδιαιρέσεις του έτους.

Επιπλέον, τα γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των πλοίων, όπως εκτόπισμα, μήκος, πλάτος, κοίλο και ιπποδύναμη κύριας μηχανής, δεν μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε καθόλου. Έχουμε δεδομένα με μηδενικό εκτόπισμα ή διαστάσεις. Για μεγάλα πλοία, έχουμε πολύ μικρό εκτόπισμα ή ιπποδύναμη μηχανής. Έτσι δεν μπορούμε να συσχετίσουμε τη γεωμετρία με τα ατυχήματα.

Κατά την προσπάθεια ταυτοποίησης ενός πλοίου από τη βάση «*Fleet at Risk*» στην βάση «*Casualties*», μέσο του μοναδικού κωδικού «*LR/IMO Ship No*», εντοπίσαμε πως η δεύτερη έχει λανθασμένες πληροφορίες για τις ημερομηνίες κτήσεως και απόσυρσης. Πολλές φορές η ημερομηνία απόσυρσης ή πρώτου ατυχήματος ήταν πολύ πριν την ημερομηνία κτήσεως του πλοίου. Έτσι, οδηγηθήκαμε στο σημείο να επανασχεδιάσουμε την δεύτερη βάση συμπληρώνοντας τα λανθασμένα ή ελλιπή στοιχεία, από την πρώτη.

Αν και η πρόσβαση στη βάση απαιτεί ετήσια συνδρομή, τα προβλήματα που αντιμετωπίσαμε, κατά την ανάλυση, από τα λανθασμένα ή ελλιπή δεδομένα, ξεπερνούν κατά πολύ το κόστος πρόσβασης. Με αποτέλεσμα, να μην είναι εφικτή, από τον χρήστη, καμία ανάλυση σε βάθος.

Στο σημείο αυτό, οφείλουμε να αναφέρουμε, πως δεν ήμασταν σε θέση να γνωρίζουμε αν τα προβλήματα αυτά οφείλονται αποκλειστικά στην ποιότητα σχεδίασης της βάσης Sea-Web ή κατά την εξαγωγή ενός μεγάλου όγκου δεδομένων μπαίνει σε λειτουργία κάποιο πρόγραμμα τροποποίησης τους ώστε να αποφεύγεται η διανομή τους.

Κεφάλαιο 4: Fleet at risk

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο, εκ πρώτης πραγματοποιείται μια γενική στατιστική ανάλυση των στοιχείων της βάσης μας, με σκοπό την εξόρυξη όσων το δυνατόν περισσότερων πληροφοριών για την καλύτερη κατανόηση των δεδομένων.

Κάθε πλοίο που απαντάτε στα δεδομένα μας ανήκει σε μία κατηγορία μεγέθους «*Ship Type Group*» και μία κατηγορία ανάλογα με το φορτίο που μεταφέρει «*Ship Type*». Κατά την γενική ανάλυση εξετάζεται η κατανομή αυτών των ομάδων καθ' όλη τη χρονική περίοδο 1945-2015.

Τα δεδομένα περιέχουν επίσης στοιχεία όπως η ημερομηνία κατασκευής, απόσυρσης και χώρα κατασκευής. Μελετώντας τη διαφορά των ημερομηνιών απόσυρσης και ναυπήγησης, αποτυπώνεται μια εικόνα για τον ρυθμό μεταβολής του αριθμού των πλοίων που περιέχει ο στόλος ανά έτος.

Ως αποτέλεσμα της μεγάλης περιόδου μελέτης, δίνεται η δυνατότητα σχολιασμού για το πώς ο ρυθμός κτήσεως και απόσυρσης αντίστοιχα, επηρεάζεται από παράγοντες όπως διεθνής κανονισμοί ή παγκόσμιες κρίσεις.

Επιπλέον, τα παραπάνω βοηθούν στον υπολογισμό της μέσης ηλικίας του στόλου σήμερα καθώς και στην εκτίμηση της μέσης διάρκειας ζωής ενός πλοίου, που είναι και ο απώτερος σκοπός αυτού του κεφαλαίου.

4.2 Περιγραφή

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα δεξαμενόπλοια είναι σχεδιασμένα για την μεταφορά υγρού φορτίου χύδην. Καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος αναγκών, από την εξυπηρέτηση μικρών λιμένων, περιορισμένων διαστάσεων, μέχρι και την μεταφορά τεράστιων ποσοτήτων σε μεγάλες αποστάσεις. Για τον λόγο αυτό, ταξινομούνται σε κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθός τους.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5), παρουσιάζονται οι κατηγορίες και τα αντίστοιχα μεγέθη τους, όπως απαντώνται στα δεδομένα της βάσης μας.

Πίνακας 5: Κατηγορίες μεγέθους δεξαμενόπλοιων.

Κατηγορία	DWT [t]
Small/Specialized	-10.000
Handy	10.000-25.000
Medium Range (MR1)	25.000-40.000
Medium Range (MR2)	40.000-55.000
Panamax	55.000-80.000
Aframax	80.000-125.000
Suezmax	125.000-200.000
VLCC	200.000-325.000
ULCC	325.000-555.000

Τονίζεται, πως η πρώτη κατηγορία, «*Small/Specialized*», στα δεδομένα της βάσης απαντάται ως «*Unknown*». Προβήκαμε σε αυτήν την ονομασία καθώς 6.492 από τα 8.799 δεδομένα, ποσοστό σχεδόν 74%, δεν ξεπερνά τους 10.000 τόνους DWT. Όπως αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, το υπόλοιπο 26% οφείλεται σε λάθη και ανακρίβειες της βάσης.

Μια άλλη σημαντική κατηγοριοποίηση των δεξαμενόπλοιων, είναι το είδος του φορτίου που μεταφέρουν. Η παρούσα εργασία ασχολείται αποκλειστικά με προϊόντα υδρογονανθράκων, όπως ακατέργαστο πετρέλαιο, παράγωγα πετρελαίου και τα λοιπά.

Για τον λόγω αυτό, παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 6) την κατανομή των δεδομένων στις δύο αυτές σημαντικές κατηγορίες.

Πίνακας 6: Κατανομή δεδομένων σε είδος φορτίου και μέγεθος σκάφους (1945-2015).

1945-2015	Small/ Specialized	Handy	MR1	MR2	Panamax	Aframax	Suezmax	VLCC	ULCC	Total
Crude Oil	61	26	45	60	202	973	604	1199	65	3235
Products	3753	552	449	385	220	56	1	-	-	5416
Crude/Oil Products	70	34	97	179	217	309	57	3	-	966
Shuttle	113	-	-	-	-	-	-	-	-	113
Asphalt/Bitumen	294	-	-	-	-	-	-	-	-	294
Coal/Oil Mixture	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Unspecified	4507	-	-	-	-	-	-	-	-	4507
Total	8799	612	591	624	639	1338	662	1202	65	14532

Επιπλέον, παρακάτω (Πίνακας 7-8) φαίνονται οι αντίστοιχες κατανομές για τις περιόδους που επιλέχθηκε να χωρισθεί το δείγμα μας.

Πίνακας 7: Κατανομή δεδομένων σε είδος φορτίου και μέγεθος σκάφους (1945-1984).

1945-1984	Small/ Specialized	Handy	MR1	MR2	Panamax	Aframax	Suezmax	VLCC	ULCC	Total
Crude Oil	34	19	40	59	136	275	157	475	63	1258
Products	1197	381	294	46	39	4	1	-	-	1962
Crude/Oil Products	50	22	57	30	47	35	7	2	-	250
Shuttle	21	-	-	-	-	-	-	-	-	21
Asphalt/Bitumen	91	-	-	-	-	-	-	-	-	91
Coal/Oil Mixture	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Unspecified	4236	-	-	-	-	-	-	-	-	4236
Total	5630	391	391	135	222	314	165	477	63	7819

Πίνακας 8: Κατανομή δεδομένων σε είδος φορτίου και μέγεθος σκάφους (1985-2015).

1985-2015	Small/ Specialized	Handy	MR1	MR2	Panamax	Aframax	Suezmax	VLCC	ULCC	Total
Crude Oil	27	7	5	1	66	698	447	724	2	1977
Products	2556	171	155	339	181	52	-	-	-	3454
Crude/Oil Products	20	12	40	149	170	274	50	1	-	716
Shuttle	92	-	-	-	-	-	-	-	-	92
Asphalt/Bitumen	203	-	-	-	-	-	-	-	-	203
Coal/Oil Mixture	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Unspecified	271	-	-	-	-	-	-	-	-	271
Total	3169	190	200	489	417	1024	497	725	2	6713

Πριν γίνει περαιτέρω ανάλυσή και γίνει αναφορά στο μέσο όρο ηλικίας του στόλου και στη διάρκεια ζωής, πρέπει να γίνει κατανοητό πως η κατασκευή ενός πλοίου επηρεάζεται από ένα σύνολο διαφόρων μεταβλητών. Όπως για παράδειγμα, το έτος κατασκευής, το οποίο καθορίζει εκ πρώτης τη μορφολογία του πλοίου και με τη σειρά του καθορίζεται από διάφορους οικονομικούς και τεχνολογικούς παράγοντες, όπως η παγκόσμια οικονομία ή το κόστος αγοράς των υλικών, το μέγεθος και η απόδοση των διαφόρων εξαρτημάτων και μηχανών. Όπως φαίνεται και στο γράφημα της εικόνας 7, πως οι κανονισμοί διπλών τοιχωμάτων, μείωσαν αισθητά τα ατυχήματα διαρροής φορτίου στη θάλασσα, αποφεύγοντας έτσι τη περιβαλλοντική ρύπανση.

Για το λόγο αυτό, παρατίθεται η κατανομή των πλοίων στην περίοδο της συγκεκριμένης μελέτης. Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 9), παρουσιάζονται με την αντίστοιχη σειρά, το έτος κατασκευής, ο αριθμός των πλοίων που κατασκευάστηκαν το έτος αυτό, ο αριθμός των πλοίων που αποσύρθηκαν το έτος αυτό και ο συνολικός αριθμός των πλοίων που αποτελούν τον στόλο μας.

Πίνακας 9: Κατανομή των πλοίων Built, Retired ανά έτος κατασκευής.

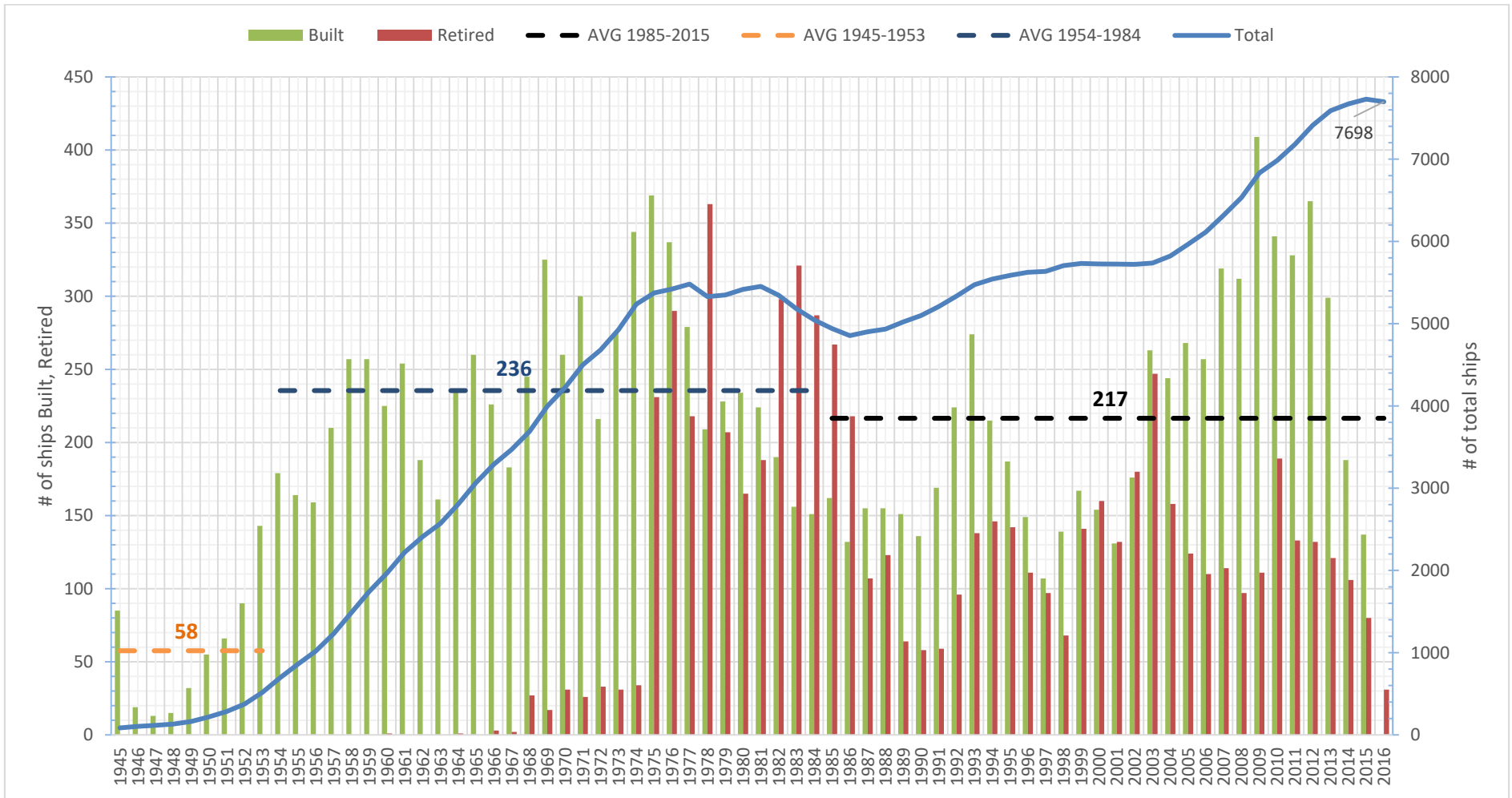
Year	Built	Retired	Total	Year	Built	Retired	Total	Year	Built	Retired	Total
1945	85	0	85	1969	325	17	3996	1993	274	138	5473
1946	19	0	104	1970	260	31	4225	1994	215	146	5542
1947	13	0	117	1971	300	26	4499	1995	187	142	5587
1948	15	0	132	1972	216	33	4682	1996	149	111	5625
1949	32	0	164	1973	275	31	4926	1997	107	97	5635
1950	55	0	219	1974	344	34	5236	1998	139	68	5706
1951	66	0	285	1975	369	231	5374	1999	167	141	5732
1952	90	0	375	1976	337	290	5421	2000	154	160	5726
1953	143	0	518	1977	279	218	5482	2001	131	132	5725
1954	179	0	697	1978	209	363	5328	2002	176	180	5721
1955	164	0	861	1979	228	207	5349	2003	263	247	5737
1956	159	0	1020	1980	234	165	5418	2004	244	158	5823
1957	210	0	1230	1981	224	188	5454	2005	268	124	5967
1958	257	0	1487	1982	190	298	5346	2006	257	110	6114
1959	257	0	1744	1983	156	321	5181	2007	319	114	6319
1960	225	1	1968	1984	151	287	5045	2008	312	97	6534
1961	254	0	2222	1985	162	267	4940	2009	409	111	6832
1962	188	0	2410	1986	132	218	4854	2010	341	189	6984
1963	161	0	2571	1987	155	107	4902	2011	328	133	7179
1964	236	1	2806	1988	155	123	4934	2012	365	132	7412
1965	260	0	3066	1989	151	64	5021	2013	299	121	7590
1966	226	3	3289	1990	136	58	5099	2014	188	106	7672
1967	183	2	3470	1991	169	59	5209	2015	137	80	7729
1968	245	27	3688	1992	224	96	5337	2016	0	31	7698

Από τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 9) προκύπτουν τα ακόλουθα στατιστικά στοιχεία για τις περιόδους που πρόκειται να μελετηθούν (Πίνακας 10)

Πίνακας 10: Στατιστικά στοιχεία της κατανομής του πίνακα 9.

Period	Years	Ships	Ships/Year	Ships/Fleet
1945-2015	71	14532	205	100.00%
1945-1984	40	7819	195	53.81%
1985-2015	31	6713	217	46.19%
1954-1984	31	7301	236	50.24%
1945-1953	9	518	58	3.56%

Παρατηρείται πως την περίοδο 1945-1984, περίοδος 40 χρόνων κατασκευάστηκε μόλις το 54% του στόλου μας, ποσοστό μόλις 8% μεγαλύτερο από την περίοδο 1985-2015, περίοδος 31 χρόνων. Αν όμως διαχωρισθεί η πρώτη στις περιόδους 1945-1953, 9 χρόνων, και 1954-1984, περίοδος 31 χρόνων, προκύπτει πως την περίοδο 1954-1984 έχουμε το 50% του στόλου μας, ενώ στην 1945-1953 έχουμε ένα ποσοστό μόλις 4%, πράγμα που είναι πολύ πιθανόν να οφείλεται σε ελλείψεις δεδομένων.



Εικόνα 13: Κατανομή του στόλου ανά έτος κτήσεως.

Στο παραπάνω διάγραμμα της εικόνας 13, με οριζόντιες πράσινες ράβδους παρουσιάζεται ο αριθμός των πλοίων που κτίστηκαν σ' ένα έτος, ενώ με κόκκινες, ο αριθμός των πλοίων που αποσύρθηκαν το ίδιο έτος. Με μπλε συνεχή γραμμή, σημειώνεται ο συνολικός αριθμός των πλοίων του στόλου μας ανά έτος. Ενώ με διακεκομμένες οριζόντιες γραμμές συμβολίζεται ο μέσος όρος κατασκευασμένων πλοίων ανά έτος στις ανάλογες περιόδους.

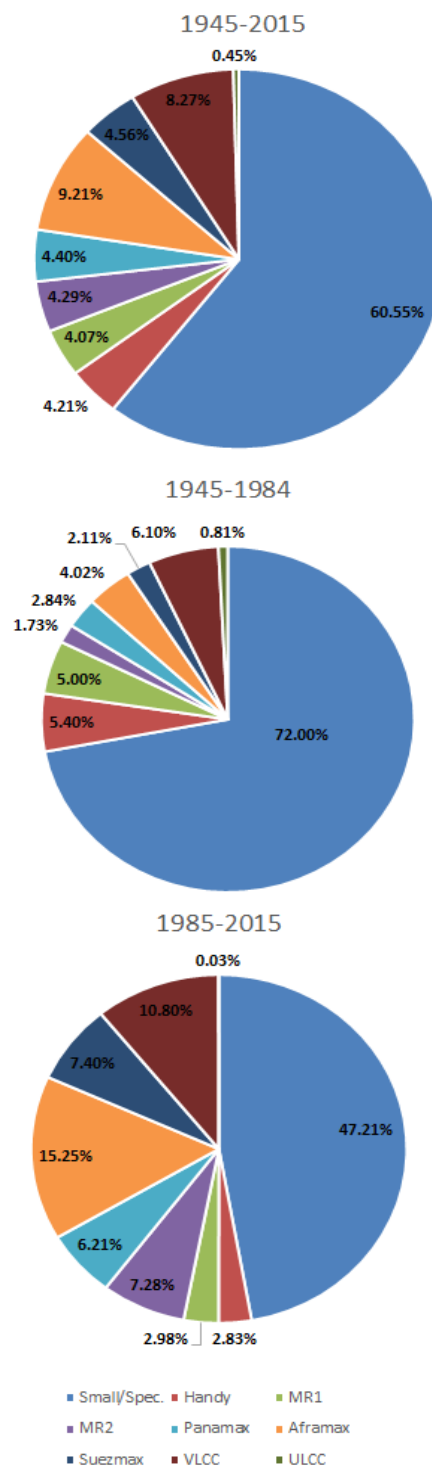
Αν και ορίσθηκε “αυθαίρετα” την έναρξη της περιόδου μελέτης μας, με το πέρας του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου, μπορούμε ωστόσο να εξαγάγουμε πληροφορίες για την τεράστια άνθιση της παγκόσμιας οικονομίας, καθώς και να ανιχνεύσουμε τις επιπτώσεις της πρώτης πετρελαϊκής κρίσης του 1973 και της δεύτερης του 1979, στον αριθμό των πλοίων που αποτελούν τον παγκόσμιο στόλο.

Με αφορμή τους πίνακες 6,7 και 8, και πριν παρουσιασθεί η αναλυτική κατανομή των Ship Type Group των δεδομένων, παρατίθεται στον αναγνώστη μια γενική εικόνα της κατάταξης των κατηγοριών ως ποσοστά του εκάστοτε δείγματος. Για την περίοδο 1945-2015 έχουμε 14.532 δεδομένα, ενώ για τις περιόδους 1945-1984 και 1985-2015, έχουμε 7.819 και 6.713 δεδομένα. αντίστοιχα, όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 10.

Στην εικόνα 14, παρατηρείται πως η κατηγορία «Small/Spec.» καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού μας σε κάθε περίοδο, ενώ μειώνεται όσο πλησιάζει κανείς στο σήμερα. Υπενθυμίζεται, πως η ονομασία της κατηγορίας, έγινε από εμάς ύστερα από έλεγχο των δεδομένων.

Η κατανομή των κατηγοριών Ship Type Group, παρουσιάζεται στα δύο ακόλουθα σχήματα. Στο πρώτο έχουμε σε μορφή συσσωρευμένης ράβδου των αριθμό των πλοίων που κτίστηκαν ανά έτος, ενώ το συνολικό άθροισμα της κάθε στήλης ισοδυναμεί με τις πράσινες ράβδους της εικόνας 13, δηλαδή αναφερόμαστε μόνο στα πλοία που κατασκευάστηκαν.

Για το δεύτερο σχήμα, δανειζόμαστε από την στατιστική την έννοια της αθροιστικής συχνότητας, και την εφαρμόζουμε ως εξής: για κάθε έτος κτήσεως, ο κατακόρυφος άξονας θα περιέχει το ποσοστό των πλοίων που κατασκευάστηκαν το ίδιο έτος ως προς το



Εικόνα 14: Κατανομή των Ship Type Group ανά περίοδο.

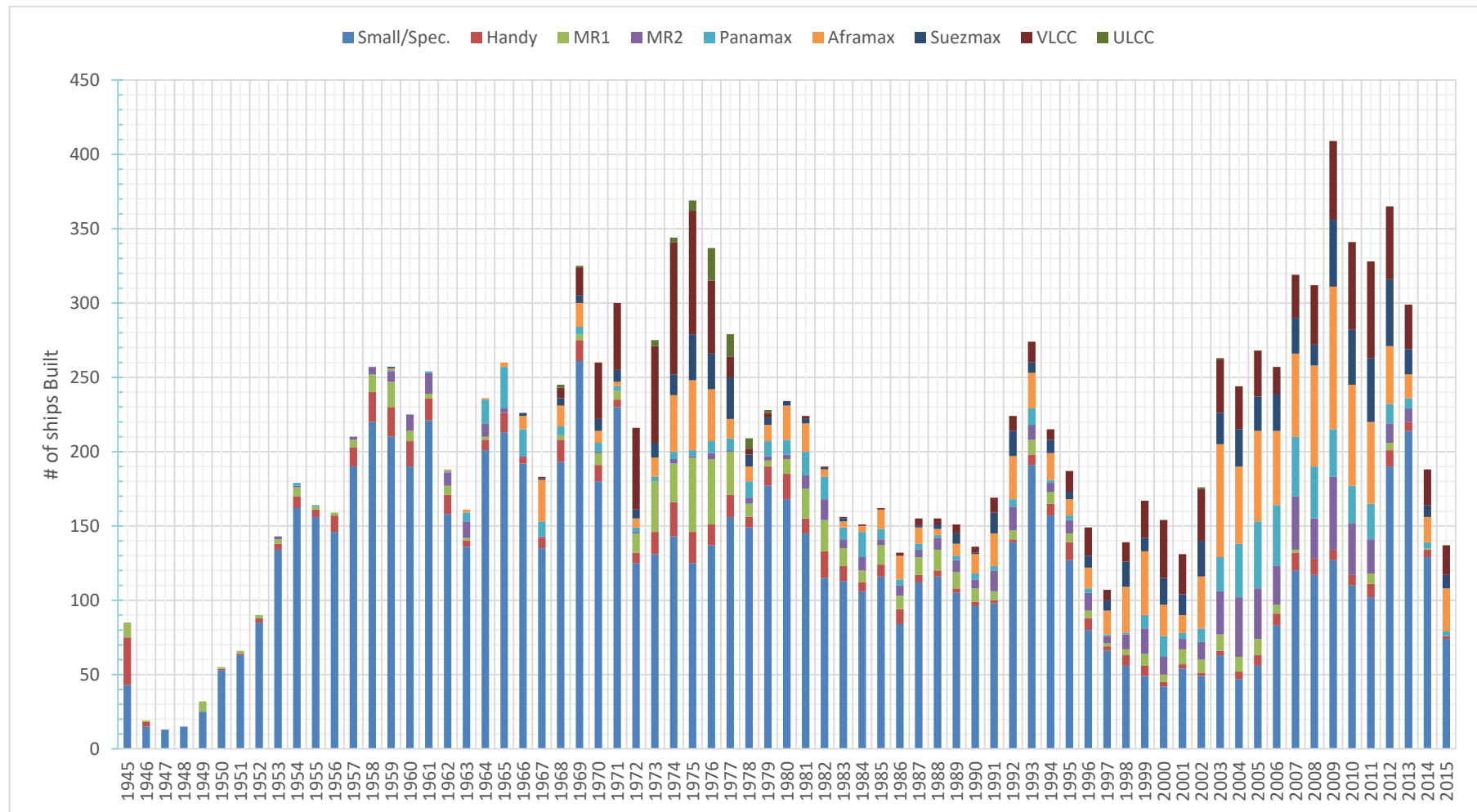
συνολικό αριθμό των κατασκευασθέντων πλοίων της ίδιας κατηγορίας συν το ποσοστό του προηγούμενου έτους, για κάθε διαφορετική κατηγορία Ship Type Group.

Με τον τρόπο αυτό οι καμπύλες που προκύπτουν είναι φραγμένες στο διάστημα $[0,1]$, ενώ οι μορφές τους μας δίνει πληροφορίες για τον ρυθμό με τον οποίον κατασκευάζονται τα πλοία κάθε κατηγορίας. Έτσι γίνονται εύκολα διακριτές οι τρεις περιπτώσεις:

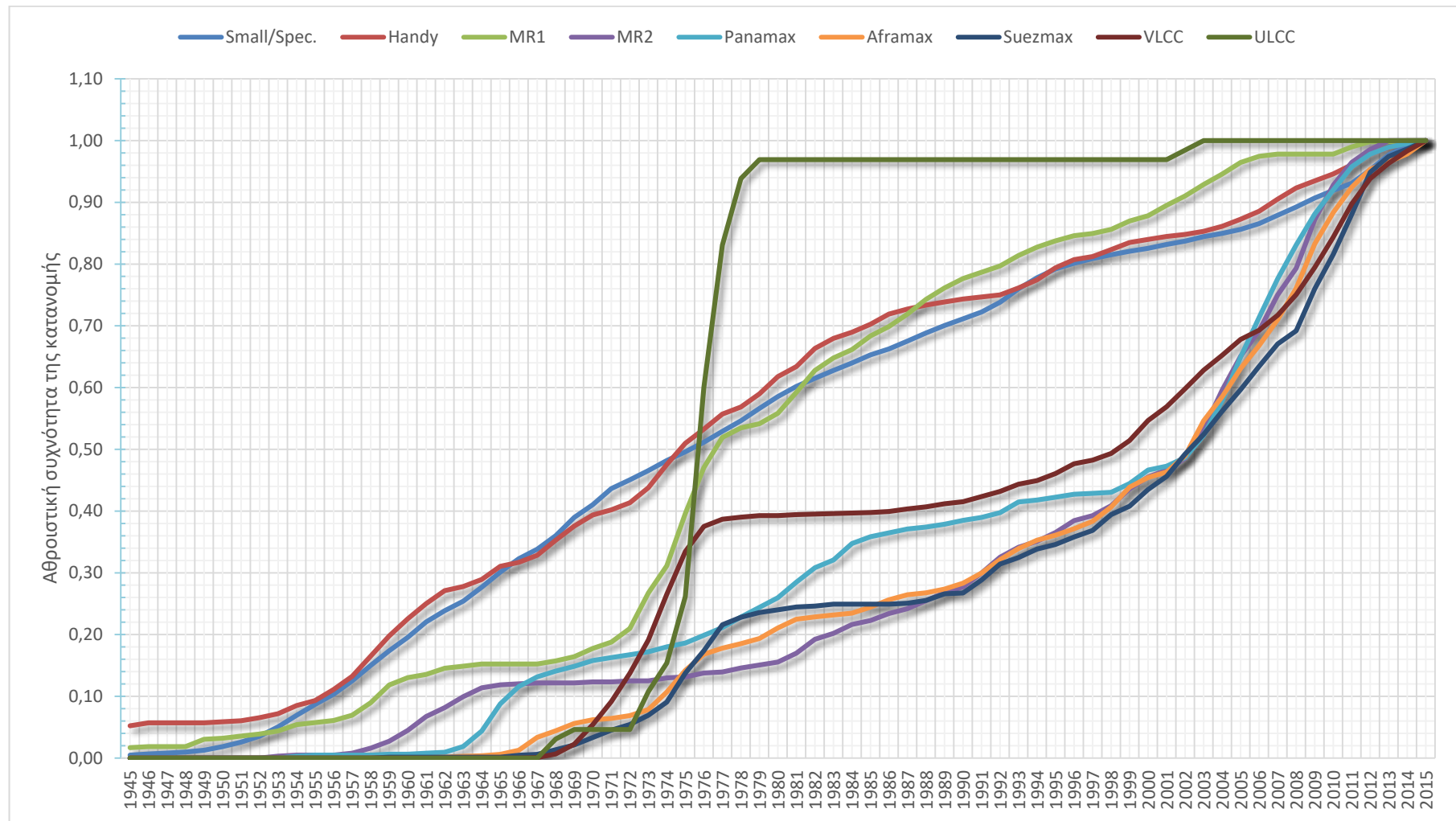
Η πρώτη περίπτωση που θα σχολιασθεί, είναι αυτή της διαγώνιου που θυμίζει μια καμπύλη της μορφής $y = a \cdot x + \beta$. Στην περίπτωση αυτή αναμένεται σταθερή παραγωγή πλοίων σε όλο το διάστημα μελέτης. Τέτοια μορφή έχουν οι κατηγορίες «*Small/Spec.*» και «*Handy*», ενώ με μία μικρή καθυστέρηση ακολουθεί η κατηγορία «*MR1*».

Η δεύτερη περίπτωση είναι η κυρτή καμπύλη, δηλαδή που στρέφει τα κοίλα προς τα πάνω. Τέτοιες καμπύλες παρουσιάζουν οι αθροιστικές κατανομές των «*MR2*», «*Panamax*», «*Aframax*», «*Suezmax*», «*VLCC*». Η παραγωγή των κατηγοριών αυτών εκ πρώτης πρωτοεμφανίζεται σχεδόν 10 χρόνια μετά από την πρώτη περίπτωση, και κατά δεύτερον αυξάνει καθώς πλησιάζουμε στο σήμερα.

Τέλος, η τρίτη περίπτωση, αυτή της κοίλης καμπύλης, που στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω, μας ενημερώνει πως η παραγωγή της συγκεκριμένης κατηγορίας έχει μειωθεί με τα χρόνια ή ακόμα και να έχει σταματήσει. Τέτοια κατανομή παρουσιάζει μόνο η κατηγορία των «*ULCC*».



Εικόνα 15: Κατανομή των Ship Type Groups ανά έτος κτήσεως.



Εικόνα 16: Αθροιστική Συχνότητα των Ship Type Group ανά έτος κτήσεως.

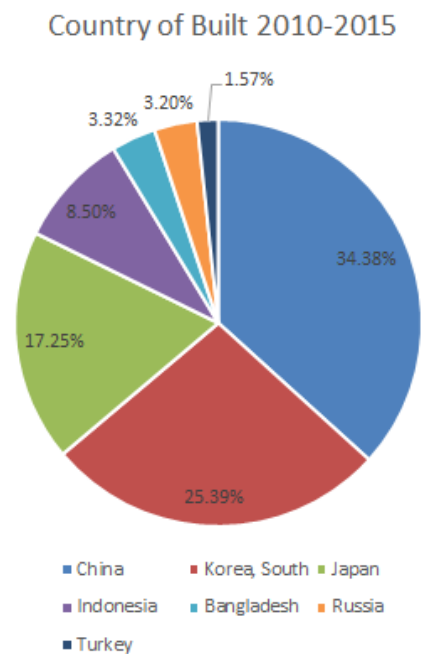
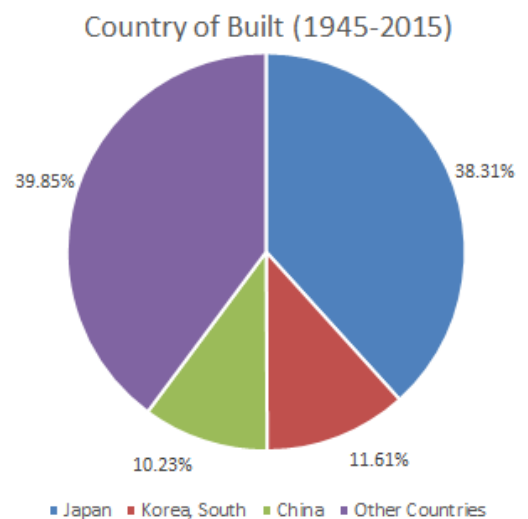
Αν τα δεδομένα της βάσης μας, μπορούσαν να θεωρηθούν αδιάψευστα, τότε ιστορικά θα μπορούσε να σχολαστεί πως τα “μικρά” μεγέθη δεξαμενόπλοιων θα έχουν πάντα θέση στην παγκόσμια αγορά. Είτε γιατί το κόστος ναυπήγησης τους είναι αρκετά μικρότερο, είτε γιατί το μέγεθος τους εξυπηρετεί ένα μεγάλο φάσμα αναγκών. Τα “μεσαία” μεγέθη καθώς και τα λίγο “μεγαλύτερα” φαίνεται να καλύπτουν τις υπόλοιπες ανάγκες μεγάλης μεταφορικής ικανότητας.

Ενώ θα μπορούσαμε να σχολιάσουμε πως τα “πολύ μεγάλα” μεγέθη δεξαμενόπλοιων δεν βρίσκουν εφαρμογή στις μέρες μας. Αυτό ίσως να οφείλεται στο τεράστιο οικονομικό κόστος ναυπήγησης και συντήρησης είτε στην κάλυψη των αναγκών της αγοράς από τις άλλες κατηγορίες μεγέθους.

Ένας τελευταίος άξονας που αξίζει να αναφερθεί από τα στοιχεία της βάσης, είναι η χώρα κατασκευής.

Όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα, σχεδόν το 60% των πλοίων που έχουν ναυπηγηθεί από το 1945 μέχρι και το 2015, έχουν κατασκευαστεί σε τρεις μόνο χώρες, Ιαπωνία, Νότια Κορέα και Κίνα. Ενώ το υπόλοιπο 40% αντιστοιχεί σε 61 χώρες παγκοσμίως.

Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει η άνοδος ορισμένων χωρών στον κατασκευαστικό τομέα της ναυτιλίας, για την περίοδο 2010-2015. Αν και το μεγαλύτερο ποσοστό, ύψους 77%, ανήκει στις τρεις προαναφερθέντες χώρες, παρατηρούμε πως ένα ποσοστό 17% κατανέμεται σε τέσσερις χώρες, ενώ το υπόλοιπο 6% ανήκει στις υπόλοιπες χώρες.



Εικόνα 17: Χώρα κατασκευής 1945-2015, 2010-2015.

4.3 Αποτελέσματα της ανάλυσης

Μέχρι το τέλος της προηγούμενης ενότητας εξετάστηκε πως το δείγμα κατανέμεται σε κατηγορίες μεγέθους και πως αυτές διαφοροποιούνται στο ευρύ χρονικό φάσμα που μελετάται. Αναφέρθηκε από πόσα πλοία αποτελείται ο συγκεκριμένος στόλος μας καθώς και τον ρυθμό με τον οποίο ναυπηγούνται ή αποσύρονται. Έτσι, στο παρόν εδάφιο θα μας απασχολήσει η διάρκεια ζωής και ο μέση ηλικία του δείγματός αυτού.

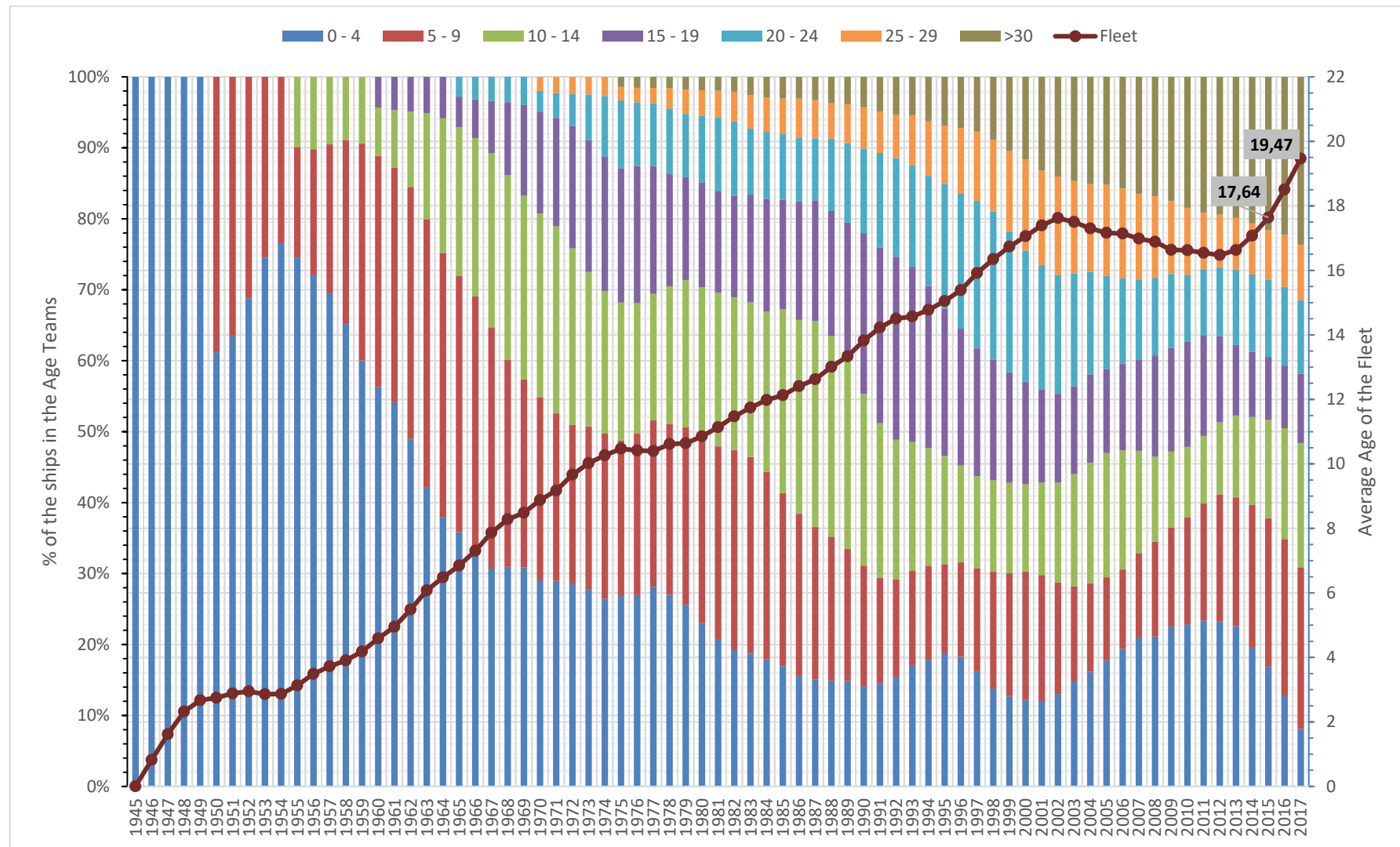
Για να γίνει εφικτό αυτό κατασκευάστηκε ένα πρόγραμμα το οποίο υπολογίζει αναλυτικά για κάθε έτος τον αριθμό των πλοίων που υπάρχουν στο συγκεκριμένο έτος, την ηλικία τους καθώς και τη μέση ηλικία του στόλου σε κάθε έτος.

Επισημαίνεται, πως για λόγους που εξηγήθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, ενδιαφέρον παρουσιάζει μόνο το έτος κατασκευής και όχι ο μήνας. Επιπλέον, για το έτος κατασκευής ενός πλοίου, η ηλικία του το συγκεκριμένο έτος θα είναι μηδέν. Λογική απόρροια, αφού δεν έχει ολοκληρώσει ακόμα το πρώτο έτος ζωής του. Όμως, αν για παράδειγμα, έχουμε το 1985 δύο πλοία. Το πρώτο κατασκευάστηκε-ναυπηγήθηκε τον Ιανουάριο του 1985 ενώ το άλλο τον Δεκέμβριο του ίδιου έτους, θα έχουν και τα δύο ηλικία μηδενική “0”. Ενώ το 1986, θα βρίσκονται στο πρώτο έτος τους και τα δύο, δηλαδή η ηλικία τους θα είναι “1”.

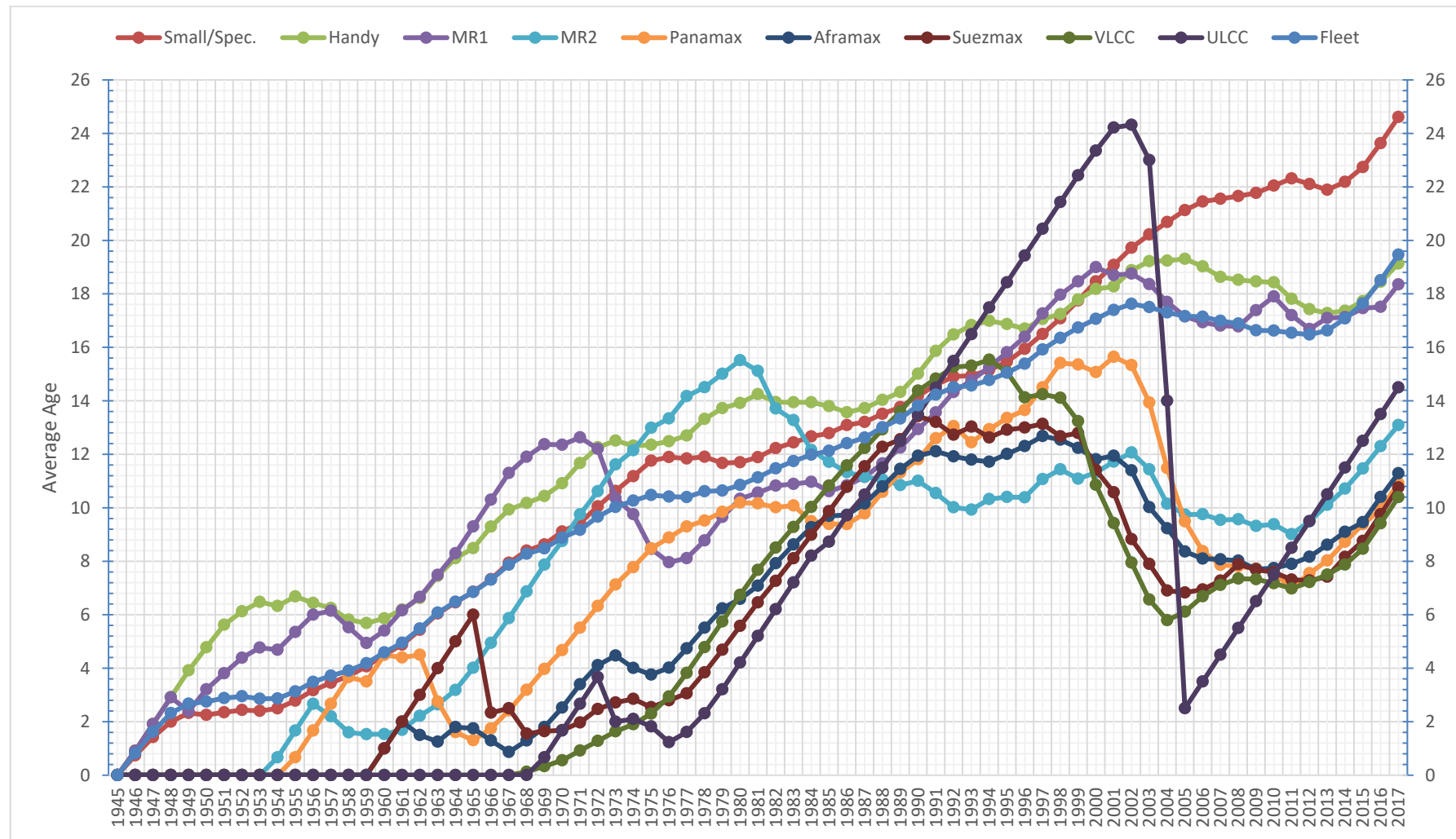
Ένα επιπλέον πρόβλημα που προκύπτει κατά την παρουσίαση των παραπάνω αποτελεσμάτων του προγράμματος σ’ έναν πίνακα, είναι οι διαστάσεις αυτού. Παίρνοντας ως δεδομένο ότι από τη μία το πλήθος των γραμμών του πίνακα καθώς ισούται με τα χρόνια μελέτης, δηλαδή 71, από το 1945 έως το 2015, και αν ακόμα θελήσουμε μπορούμε να το παρατείνουμε ως το 2017. Υπολογίζοντας με τον τρόπο αυτό την ηλικία του στόλου στο σήμερα, ώστε να έχουμε στη διάθεση μας τη δυνατότητα σύγκρισης με άλλες επιστημονικές μελέτες, χωρίς όμως να έχει συμπεριληφθεί ο αριθμός των πλοίων που έχουν ναυπηγηθεί τα έτη 2016 και 2017. Καθώς για τα έτη αυτά υπάρχουν αποσύρσεις. Ο αριθμός των στηλών όμως από την άλλη, εξαρτάται από την μέγιστη ηλικία του δείγματος μας που είναι ίση με 72 χρόνια. Το γεγονός αυτό, δε θα έπρεπε να δημιουργεί ανησυχία καθώς υπάρχουν πλοία από τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο τα οποία βρίσκονται στη ζωή ως μουσεία.

Για να ξεπερασθεί το παραπάνω πρόβλημα κατά τη μεταφορά των δεδομένων σ’ ένα διάγραμμα, χωρίστηκαν οι στήλες του πίνακα σε ηλικιακές ομάδες των 5 ετών ως τα 30 πρώτα έτη. Έτσι, στο σύνθετο διάγραμμα που ακολουθεί, σε μορφή συσσωρευμένης στήλης παρουσιάζεται το ποσοστό των πλοίων που ανήκουν στην εκάστοτε ηλικιακή ομάδα, ενώ με συνεχή γραμμή δίνεται η μέση ηλικία του στόλου.

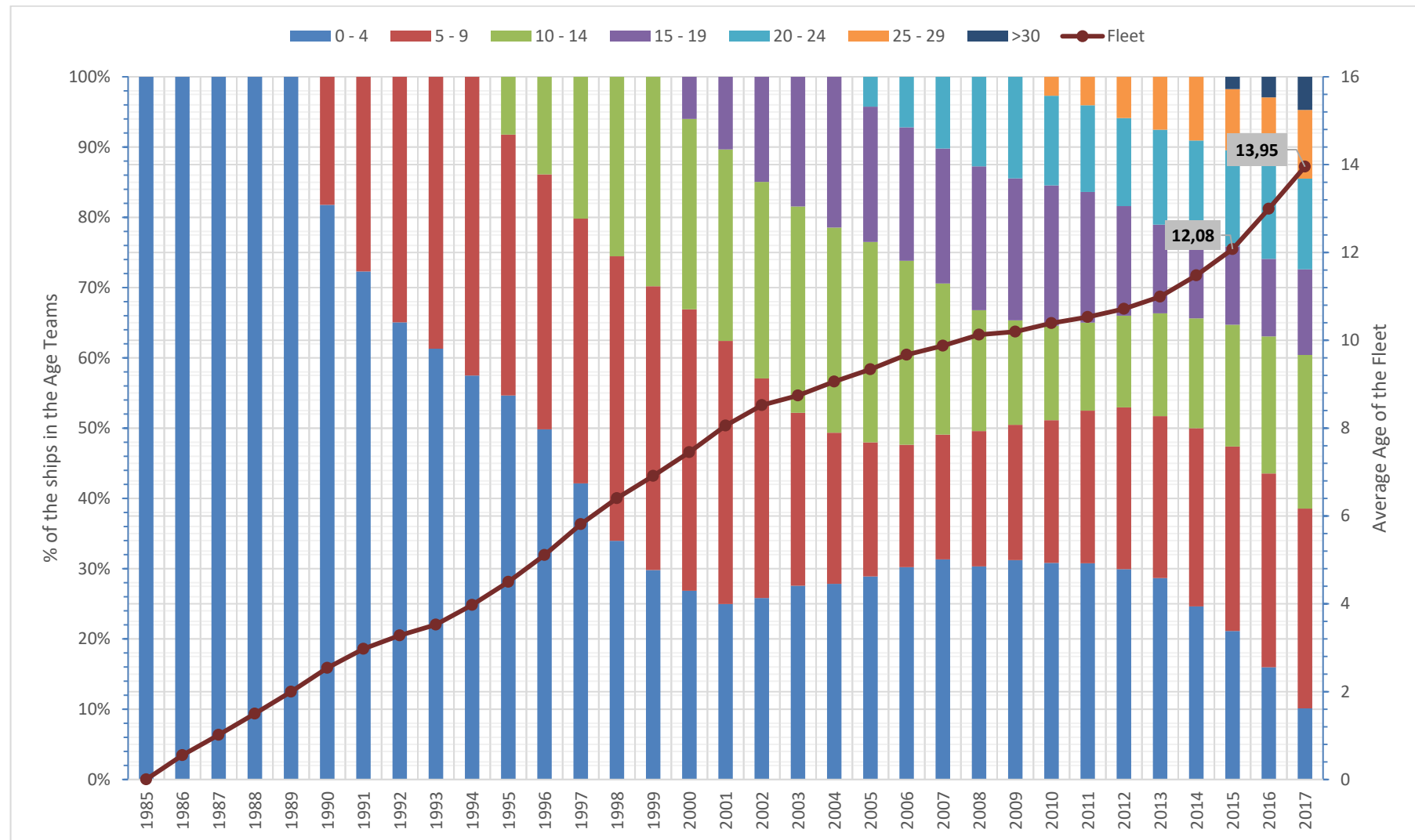
Αντίστοιχα στο γράφημα της εικόνας 19, παρουσιάζεται η μέση ηλικία κάθε ομάδας μεγέθους «*Ship Type Group*» και συγκρίνεται με τη μέση ηλικία του στόλου από το προηγούμενο διάγραμμα, ενώ στο γράφημα της εικόνας 20 και 21, επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για όλες τις ομάδες, αλλά αφορά μόνο πλοία που ναυπηγήθηκαν από το 1985 και μετά.



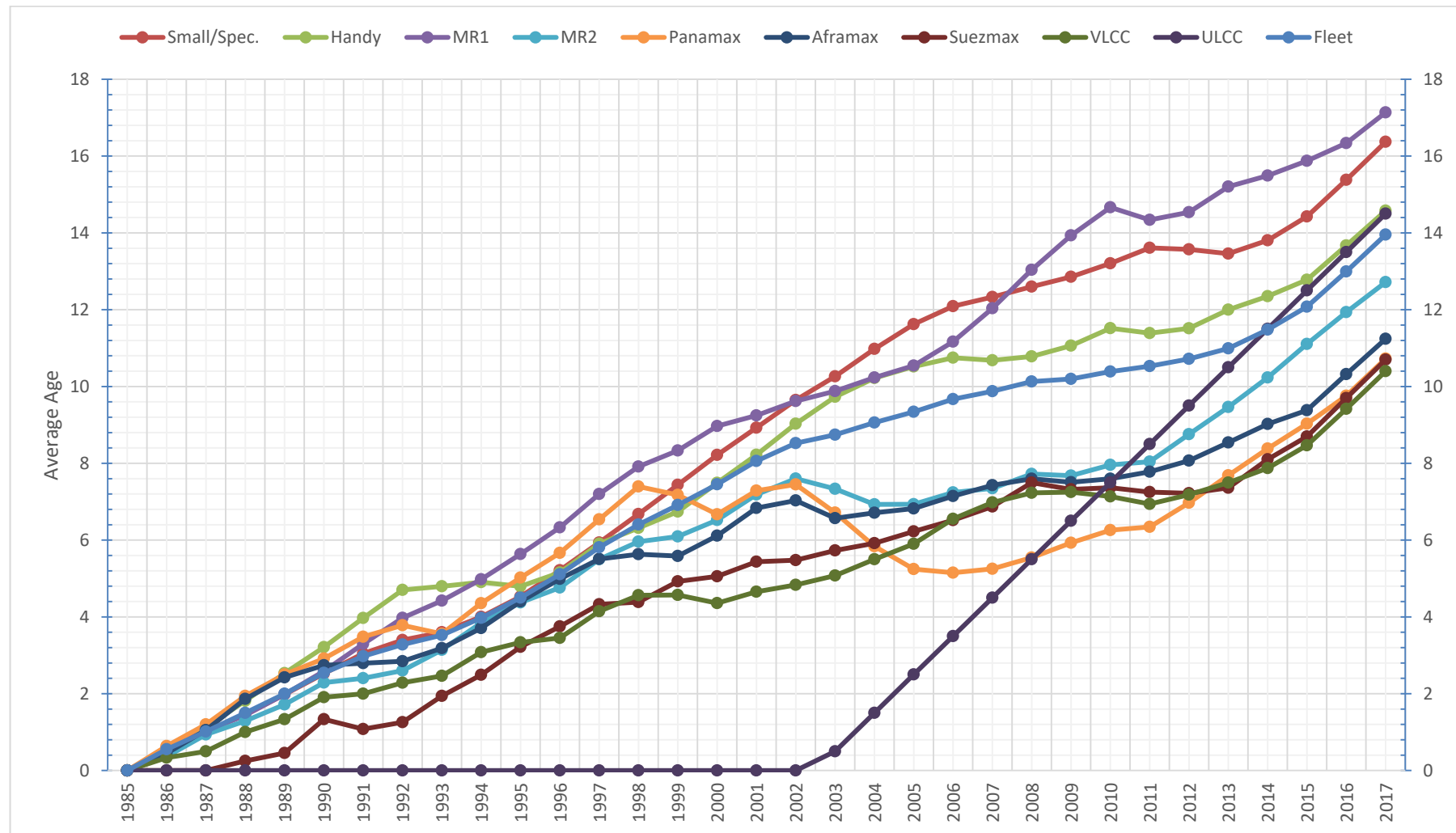
Εικόνα 18: Μέση ηλικία του στόλου και κατανομή ηλικιακών ομάδων ανά έτος κτήσεως.



Εικόνα 19: Μέση ηλικία του στόλου και των Ship Type Group ανά έτος κτήσεως.



Εικόνα 20: :Μέση ηλικία του στόλου και κατανομή ηλικιακών ομάδων ανά έτος κτήσεως 1985-2017.



Εικόνα 21: Μέση ηλικία του στόλου και των Ship Type Group ανά έτος κτήσεως 1985-2017.

Όπως ήταν αναμενόμενο από το διάγραμμα της εικόνας 16, οι τρεις μικρότερες κατηγορίες μεγέθους παρουσιάζουν μεγαλύτερη μέση ηλικία από τις υπόλοιπες, γεγονός, που όπως σχολιάσθηκε στο προηγούμενο εδάφιο, οφείλεται στην νεότερη παραγωγή τους. Με εξαίρεση την κατηγορία των «ULCC» που στην δεύτερη περίπτωση αφορά μόνο 2 στοιχεία, όπως φαίνεται και στον πίνακα 8.

Ακόμα ένα στοιχείο που αξίζει να αναφερθεί, είναι πως η μέση ηλικία του στόλου από το 1985 και έπειτα δεν έχει αρκετά μεγάλη απόκλιση από τη μέση ηλικία του στόλου από το 1945, παρά το γεγονός ότι έχουμε αφήσει εκτός σχεδόν το 54% του αρχικού δείγματος. Πράγμα το οποίο μπορεί να σημαίνει ή ότι ύστερα από την επεξεργασία των δεδομένων μας, έχουν απομείνει ελάχιστες λάθος εγγραφές ή ότι η χρονική περίοδος που μελετάται είναι αρκετά μικρή για την πραγματική διάρκεια ζωής ενός πλοίου.

Έτσι λοιπόν στους ακόλουθους πίνακες παρουσιάζεται, κατά πρώτον την σύνθεση του στόλου το έτος 2017. Δηλαδή για κάθε έτος το ποσοστό των πλοίων που συνθέτει τον στόλο μας το 2017. Και κατά δεύτερον, ένας συμπληρωματικός πίνακας (Πίνακας 11) που δίνει πληροφορίες για το πόσα πλοία χτίστηκαν κάθε έτος, πόσα από αυτά επέζησαν ως το 2017 και το ποσοστό αυτών.

Πίνακας 11: Κατανομή των πλοίων που συνθέτουν τον στόλο το 2017.

Year	%	Year	%	Year	%	Year	%
2017	0.00%	1998	1.73%	1979	1.69%	1960	0.16%
2016	0.00%	1997	1.35%	1978	1.30%	1959	0.14%
2015	1.78%	1996	1.77%	1977	1.39%	1958	0.16%
2014	2.44%	1995	1.99%	1976	0.96%	1957	0.08%
2013	3.88%	1994	2.33%	1975	0.78%	1956	0.01%
2012	4.74%	1993	2.90%	1974	0.64%	1955	0.08%
2011	4.26%	1992	2.09%	1973	0.48%	1954	0.03%
2010	4.42%	1991	1.42%	1972	0.58%	1953	0.01%
2009	5.31%	1990	1.35%	1971	0.69%	1952	0.04%
2008	4.04%	1989	1.42%	1970	0.55%	1951	0.01%
2007	4.13%	1988	1.56%	1969	0.65%	1950	0.00%
2006	3.34%	1987	1.44%	1968	0.74%	1949	0.00%
2005	3.48%	1986	1.01%	1967	0.29%	1948	0.03%
2004	3.17%	1985	1.33%	1966	0.30%	1947	0.00%
2003	3.40%	1984	1.17%	1965	0.30%	1946	0.03%
2002	2.29%	1983	1.29%	1964	0.31%	1945	0.08%
2001	1.69%	1982	1.31%	1963	0.21%	Total	100.00%
2000	1.95%	1981	1.39%	1962	0.23%		
1999	2.12%	1980	1.60%	1961	0.21%		

Πίνακας 12: Αθροιστική κατανομή του στόλου από το 2017.

2017	0.00%	1985	80.11%	1950	99.87%
2010	21.53%	1980	86.87%	1945	100%
2000	54.33%	1970	95.92%		
1990	73.36%	1960	99.31%		

Πίνακας 13: Το ποσοστό το πλοίων που επιβίωσαν ως το 2017.

Year	Survived	Built	%	Year	Survived	Built	%	Year	Survived	Built	%	Year	Survived	Built	%
2017	0	0	0%	1998	133	139	95.68%	1979	130	228	57.02%	1960	12	225	5.33%
2016	0	0	0%	1997	104	107	97.20%	1978	100	209	47.85%	1959	11	257	4.28%
2015	137	137	100.00%	1996	136	149	91.28%	1977	107	279	38.35%	1958	12	257	4.67%
2014	188	188	100.00%	1995	153	187	81.82%	1976	74	337	21.96%	1957	6	210	2.86%
2013	299	299	100.00%	1994	179	215	83.26%	1975	60	369	16.26%	1956	1	159	0.63%
2012	365	365	100.00%	1993	223	274	81.39%	1974	49	344	14.24%	1955	6	164	3.66%
2011	328	328	100.00%	1992	161	224	71.88%	1973	37	275	13.45%	1954	2	179	1.12%
2010	340	341	99.71%	1991	109	169	64.50%	1972	45	216	20.83%	1953	1	143	0.70%
2009	409	409	100.00%	1990	104	136	76.47%	1971	53	300	17.67%	1952	3	90	3.33%
2008	311	312	99.68%	1989	109	151	72.19%	1970	42	260	16.15%	1951	1	66	1.52%
2007	318	319	99.69%	1988	120	155	77.42%	1969	50	325	15.38%	1950	0	55	0.00%
2006	257	257	100.00%	1987	111	155	71.61%	1968	57	245	23.27%	1949	0	32	0.00%
2005	268	268	100.00%	1986	78	132	59.09%	1967	22	183	12.02%	1948	2	15	13.33%
2004	244	244	100.00%	1985	102	162	62.96%	1966	23	226	10.18%	1947	0	13	0.00%
2003	262	263	99.62%	1984	90	151	59.60%	1965	23	260	8.85%	1946	2	19	10.53%
2002	176	176	100.00%	1983	99	156	63.46%	1964	24	236	10.17%	1945	6	85	7.06%
2001	130	131	99.24%	1982	101	190	53.16%	1963	16	161	9.94%				
2000	150	154	97.40%	1981	107	224	47.77%	1962	18	188	9.57%				
1999	163	167	97.60%	1980	123	234	52.56%	1961	16	254	6.30%				

Ανακεφαλαιώνοντας, τα πλοία που επιβίωσαν από το 1945 μέχρι το 2017, συνθέτουν μόλις το 20% του σημερινού στόλου, ενώ το υπόλοιπο 80% αποτελείται από πλοία που ναυπηγήθηκαν μετά το 1985. Επομένως εύλογα θα μπορούσε να ειπωθεί πως η μέση ηλικία που υπολογίστηκε στα παραπάνω διαγράμματα και εφόσον αυτή είναι κάτω από 20 έτη, για το 2017, από άποψη σφάλματος είναι αποδεκτή. Έτσι, τίθεται το ερώτημα της πραγματικής διάρκειας ζωής ενός πλοίου.

Για να απαντηθεί το ερώτημα αυτό, αρκεί να υπολογισθεί η διάρκεια ζωής των πλοίων που έχουν αποσυρθεί. Έτσι κατασκευάστηκε ένας κώδικας ο οποίος για κάθε έτος κατασκευής μας δίνει τον ολικό αριθμό των πλοίων που έχουν κατασκευαστεί, τον αριθμό των πλοίων που λειτουργούν ακόμα και τον αριθμό των πλοίων που έχουν αποσυρθεί το ίδιο έτος. Επίσης, μας δίνει την ελάχιστη και τη μέγιστη διάρκεια ζωής ανά έτος καθώς και τον μέσο όρο για το ίδιο έτος.

Παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 14) τα αποτελέσματα του προγράμματος για την περίοδο 1945-2015.

Πίνακας 14: Δεδομένα της διάρκειας ζωής του στόλου.

Year	Total	Survived	Retired	Min	Max	Avg	Year	Total	Survived	Retired	Min	Max	Avg
2015	137	137	0	-	-	-	1979	228	130	98	3.25	36.50	24.11
2014	188	188	0	-	-	-	1978	209	100	109	1.17	38.25	24.18
2013	299	299	0	-	-	-	1977	279	107	172	2.92	38.33	23.82
2012	365	365	0	-	-	-	1976	337	74	263	0.00	38.33	24.35
2011	328	328	0	-	-	-	1975	369	60	309	5.00	39.58	23.83
2010	341	340	1	2.25	2.25	2.25	1974	344	49	295	3.83	41.00	23.44
2009	409	409	0	-	-	-	1973	275	37	238	7.17	41.33	22.52
2008	312	311	1	7.00	7.00	7.00	1972	216	45	171	0.83	42.08	21.63
2007	319	318	1	7.17	7.17	7.17	1971	300	53	247	4.92	45.00	21.38
2006	257	257	0	-	-	-	1970	260	42	218	2.92	45.75	20.98
2005	268	268	0	-	-	-	1969	325	50	275	0.50	46.33	20.83
2004	244	244	0	-	-	-	1968	245	57	188	1.33	45.00	21.66
2003	263	262	1	2	2	2	1967	183	22	161	4.00	45.92	22.01
2002	176	176	0	-	-	-	1966	226	23	203	3.67	49.00	20.86
2001	131	130	1	2.67	2.67	2.67	1965	260	23	237	6.00	48.00	20.73
2000	154	150	4	13.33	15.00	14.58	1964	236	24	212	6.42	50.83	22.25
1999	167	163	4	14.00	15.00	14.73	1963	161	16	145	7.00	53.00	21.16
1998	139	133	6	13.50	17.83	15.56	1962	188	18	170	9.08	53.00	23.03
1997	107	104	3	4.17	18.50	12.89	1961	254	16	238	13.67	53.00	22.84
1996	149	136	13	3.75	20.42	16.65	1960	225	12	213	7.58	51.00	22.83
1995	187	153	34	11.58	20.83	18.06	1959	257	11	246	8.00	52.42	22.10
1994	215	179	36	15.25	21.92	19.00	1958	257	12	245	11.00	56.17	23.10
1993	274	223	51	1.25	22.17	19.54	1957	210	6	204	9.00	57.17	23.68
1992	224	161	63	17.58	23.92	20.38	1956	159	1	158	11.25	56.00	23.88
1991	169	109	60	17.92	25.33	21.31	1955	164	6	158	12.75	49.00	23.19
1990	136	104	32	3.00	26.08	20.61	1954	179	2	177	11.58	52.58	24.73
1989	151	109	42	8.25	26.75	22.23	1953	143	1	142	14.42	51.42	25.86
1988	155	120	35	0.58	28.58	22.40	1952	90	3	87	11.92	54.75	25.16
1987	155	111	44	15.00	29.25	23.50	1951	66	1	65	16.58	50.92	26.58
1986	132	78	54	3.08	29.08	24.31	1950	55	0	55	10.00	53.58	27.77
1985	162	102	60	8.00	30.75	24.91	1949	32	0	32	18.58	37.08	28.38
1984	151	90	61	0.50	31.50	24.33	1948	15	2	13	19.58	47.08	29.31
1983	156	99	57	4.42	32.17	25.44	1947	13	0	13	20.25	63.67	36.25
1982	190	101	89	2.58	34.25	26.16	1946	19	2	17	28.75	59.00	39.80
1981	224	107	117	5.50	34.25	25.06	1945	85	6	79	22.67	66.25	37.39
1980	234	123	111	7.00	35.75	25.30	Total	14532	7698	6834			

Για να υπολογιστεί η διάρκεια ζωής από τα παραπάνω δεδομένα, εφαρμόστηκαν δύο μεθοδολογίες. Κατά πρώτον χρησιμοποιήθηκε ως συντελεστής βαρύτητας ο λόγος των πλοίων που αποσύρθηκαν κάθε έτος προς τον συνολικό αριθμό των πλοίων που αποσύρθηκαν και ύστερα τον πολλαπλασιάστηκε με τη μέση διάρκεια ζωής των πλοίων του ίδιο έτος. Έτσι το άθροισμα όλων των όρων μας δίνει τη μέση διάρκεια ζωής όλου του στόλου. Κατά τη δεύτερη μέθοδο αφαιρέσαμε τα δεδομένα των πλοίων που κατασκευάστηκαν και αποσύρθηκαν στο διάστημα μεταξύ του 2015 μέχρι του μέσου όρου που προκύπτει από την πρώτη μέθοδο.

Αν για παράδειγμα η μέση διάρκεια ζωής από το 1945 ως το 2015 είναι 20 χρόνια, τότε τα πλοία που κατασκευάστηκαν από το 2015 και 20 χρόνια πίσω, δηλαδή μέχρι και το 1996, δεν λαμβάνουν μέρος στον υπολογισμό.

Με τον τρόπο αυτό μπορεί να απεικονισθεί σ' ένα διάγραμμα η μεταβολή της μέσης διάρκειας ζωής ανά έτος κτήσεως, τη μέση διάρκεια ζωής ανά δεκαετία και τη μέση διάρκεια ζωής των δύο παραπάνω μεθόδων. Ένα τέτοιο διάγραμμα φαίνεται στην επόμενη εικόνα για την περίοδο 1945-2015.

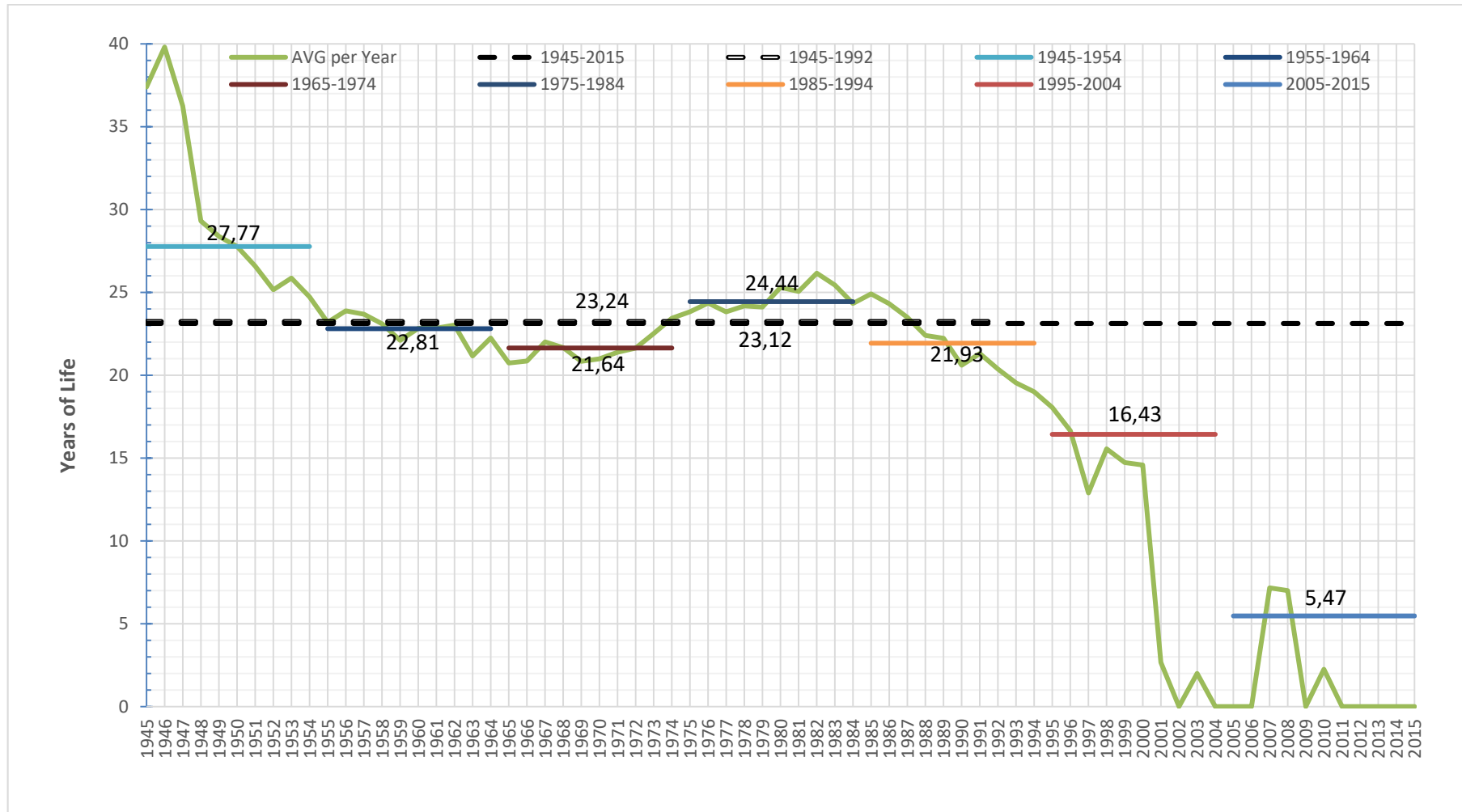
Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία για κάθε ομάδα «*Ship Type Group*» και «*Ship Type*» συμπληρώνουμε τους δύο ακόλουθους σύνθετους πίνακες.

Για τον πίνακα 15, για κάθε ομάδα 4 κελιών (2x2), έχουμε:

- (1,1) Την πραγματική διάρκεια ζωής όπως περιεγράφηκε στη δεύτερη μέθοδο.
- (2,1) Την διασπορά της διάρκειας ζωής της (1,1), σε χρόνια.
- (1,2) Την διάρκεια ζωής των πλοίων που αποσύρθηκαν την περίοδο 1945-2015
- (2,2) Την διασπορά της διάρκειας ζωής της (1,2), σε χρόνια.

Ενώ για τον πίνακα 16 για κάθε ομάδα 4 κελιών (2x2), έχουμε:

- (1,1) Ο αριθμός των πλοίων που έλαβε μέρος στον υπολογισμό του (1,1) του πίνακα 15.
- (2,1) Ο αριθμός των πλοίων που δεν έλαβαν μέρος στον υπολογισμό.
- (1,2) Ο αριθμός των πλοίων που έλαβε μέρος στον υπολογισμό του (1,2) του πίνακα 15.
- (2,2) Ο συνολικός αριθμός των πλοίων που ανήκουν στην ανάλογη ομάδα.



Εικόνα 22: Μέση διάρκεια ζωής του στόλου για την περίοδο 1945-2015.

Πίνακας 15: Κατανομή της διάρκειας ζωής ανά Ship Type και Ship Type Group.

AVG Lifespan	23.12	23.24																		
σ (Var)	±2.60	±2.46																		
	Small/Spec.	Handy	MR1	MR2	Panamax	Aframax	Suezmax	VLCC	ULCC	Ship Type										
Crude Oil	22.27	22.52	25.64	25.64	26.19	26.70	25.76	25.76	23.16	23.31	22.92	23.11	21.62	21.64	17.81	17.82	20.41	20.41	20.97	21.02
σ (Var)	±5.99	±6.09	±6.02	±6.02	±3.95	±3.58	±5.10	±5.10	±3.39	±3.43	±2.52	±2.40	±2.23	±2.22	±2.78	±2.77	±2.75	±2.75	±2.74	±2.71
Products	30.19	31.76	28.26	28.45	27.15	27.75	25.75	26.57	24.54	25	22.14	22.14	18.83	18.83	-	-	-	-	28.23	29.04
σ (Var)	±6.67	±5.07	±4.00	±3.73	±4.22	±3.79	±4.90	±4.72	±4.56	±4.14	±2.64	±2.64	-	-	-	-	-	-	±4.37	±3.42
Crude/Oil Products	26.32	26.58	28	29.24	27.68	28.63	26	26.68	23.61	24.2	21.54	21.64	20.28	20.5	20.83	20.83	-	-	24.75	25.41
σ (Var)	±7.67	±7.71	±5.11	±4.73	±4.49	±4.17	±4.80	±4.66	±3.13	±2.60	±3.29	±3.18	±2.67	±2.69	±5.37	±5.37	-	-	±4.06	±3.77
Shuttle	23.82	24.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23.82	24.08
σ (Var)	±3.73	±3.73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±3.73	±3.73
Asphalt/Bitumen	25.99	26.41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25.99	26.41
σ (Var)	±8.10	±7.81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±8.10	±7.81
Coal/Oil Mixture	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
σ (Var)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Unspecified	22.08	22.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.08	22.09
σ (Var)	±2.30	±2.28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±2.30	±2.28
Ship Type Group	22.93	22.98	28.14	28.37	27.14	27.78	25.82	26.31	23.5	23.8	22.66	22.87	21.53	21.59	17.83	17.84	20.41	20.41		
σ (Var)	±2.58	±2.46	±3.91	±3.63	±3.94	±3.47	±3.86	±3.63	±3.47	±3.31	±2.52	±2.39	±2.20	±2.18	±2.79	±2.78	±2.75	±2.75		

Πίνακας 16: Κατανομή των πλοίων που χρησιμοποιήθηκαν στον πίνακα 15.

Fleet	6834	6678																		
	7698	14532																		
	Small/Spec.		Handy		MR1		MR2		Panamax		Aframax		Suezmax		VLCC		ULCC		Ship Type	
Crude Oil	17	16	17	17	45	44	57	57	150	140	359	344	200	199	547	545	63	63	1455	1439
	44	61	9	26	0	45	3	60	52	202	614	973	404	604	652	1199	2	65	1780	3235
Products	389	341	364	357	336	310	68	58	43	41	13	13	1	1	-	-	-	-	1214	1111
	3364	3753	188	552	113	449	317	385	177	220	43	56	0	1	-	0	-	0	4202	5416
Crude/Oil Products	26	25	23	19	76	64	49	43	71	64	79	78	12	11	3	3	-	-	339	302
	44	70	11	34	21	97	130	179	146	217	230	309	45	57	0	3	-	0	627	966
Shuttle	31	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31	29
	82	113	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	82	113
Asphalt/Bitumen	74	71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74	71
	220	294	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	220	294
Coal/Oil Mixture	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1	1	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	1	1
Unspecified	3721	3719	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3721	3719
	786	4507	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	786	4507
Ship Type Group	4258	4238	404	393	457	416	174	158	264	248	451	429	213	210	550	548	63	63		
	4541	8799	208	612	134	591	450	624	375	639	887	1338	449	662	652	1202	2	65		

Κεφάλαιο 5: Casualties

5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο, εκ πρώτης πραγματοποιείται μια γενική στατιστική ανάλυση των στοιχείων της βάσης μας, με σκοπό την εξόρυξη όσων το δυνατόν περισσότερων πληροφοριών για την καλύτερη κατανόηση των δεδομένων.

Κάθε πλοίο που απαντάτε στα δεδομένα της βάσης των ατυχημάτων, περιέχεται τόσες φορές, όσα και τα ατυχήματα που έχει υποστεί. Κατά την γενική ανάλυση εξετάζεται ο αριθμός των ατυχημάτων που έχει υποστεί κάθε σκάφος, για την περίοδο 1945-2015 και 1985-2015 χωριστά.

Συγκρίνεται επίσης το ποσοστό των πλοίων του προηγούμενου κεφαλαίου με αυτό των ατυχημάτων που έχουν προκληθεί, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός “χάρτη” που διευκολύνει στον προσδιορισμό της ακρίβειας της μελέτης.

Τα δεδομένα περιέχουν επίσης στοιχεία όπως το είδος του ατυχήματος, η σημαία του πλοίου την περίοδο εκείνη, η περιοχή που έλαβε χώρα το ατύχημα, η σοβαρότητα και η μόλυνση που προκλήθηκε. Με τον τρόπο αυτό, δίνεται η δυνατότητα μελέτης της πιο “επικίνδυνης” περιοχής και σημαίας, το είδος του πρώτου ατυχήματος καθώς και το είδος του ατυχήματος με την πιο συχνή διαρροή φορτίου στη θάλασσα.

Για άλλη μία φορά, η μεγάλη περίοδος μελέτης, βοηθά στην αποτύπωση της μεταβολής της ύπαρξης ατυχήματος και πως αυτά επηρεάστηκαν από τους διεθνείς κανονισμούς.

5.2 Περιγραφή

Όπως έγινε αντιληπτό από την ανάλυση που έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο αριθμός των διαφορετικών πλοίων που μελετάμε είναι 14.532, ενώ τα δεδομένα της βάσης των ατυχημάτων είναι 23.328 σχεδόν 1,5 φορά περισσότερα δεδομένα. Εύκολα κατανοείται πως στη βάση δεδομένων των «Casualties» κάθε πλοίο δεν απαντάει μία φορά, όπως συμβαίνει στη βάση του στόλου. Υπάρχουν πλοία που καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους δεν παρουσίασαν κανένα ατύχημα. Από την άλλη υπάρχουν πλοία που τους συνέβησαν τρία και τέσσερα ατυχήματα, ενώ ο μέγιστος αριθμός ατυχημάτων που έχει συμβεί σ' ένα πλοίο είναι 42.

Πριν όμως προβούμε στην ανάλυση και το είδος των ατυχημάτων, πρέπει να γνωρίζουμε την κατανομή των ατυχημάτων ανά έτος κτήσεως.

Πίνακας 17: Κατανομή του αριθμού των ατυχημάτων ανά έτος κτήσεως.

Year	Casualties	%	Year	Casualties	%	Year	Casualties	%
1945	319	1.37%	1969	560	2.40%	1993	101	0.43%
1946	17	0.07%	1970	581	2.49%	1994	77	0.33%
1947	19	0.08%	1971	504	2.16%	1995	57	0.24%
1948	23	0.10%	1972	486	2.08%	1996	41	0.18%
1949	129	0.55%	1973	617	2.64%	1997	56	0.24%
1950	158	0.68%	1974	829	3.55%	1998	45	0.19%
1951	191	0.82%	1975	962	4.12%	1999	41	0.18%
1952	272	1.17%	1976	652	2.79%	2000	39	0.17%
1953	739	3.17%	1977	544	2.33%	2001	30	0.13%
1954	812	3.48%	1978	285	1.22%	2002	39	0.17%
1955	724	3.10%	1979	265	1.14%	2003	47	0.20%
1956	847	3.63%	1980	345	1.48%	2004	53	0.23%
1957	1008	4.32%	1981	403	1.73%	2005	53	0.23%
1958	1478	6.34%	1982	233	1.00%	2006	39	0.17%
1959	1256	5.38%	1983	153	0.66%	2007	44	0.19%
1960	880	3.77%	1984	117	0.50%	2008	31	0.13%
1961	764	3.28%	1985	105	0.45%	2009	33	0.14%
1962	494	2.12%	1986	109	0.47%	2010	23	0.10%
1963	537	2.30%	1987	113	0.48%	2011	14	0.06%
1964	812	3.48%	1988	73	0.31%	2012	12	0.05%
1965	959	4.11%	1989	94	0.40%	2013	11	0.05%
1966	733	3.14%	1990	75	0.32%	2014	3	0.01%
1967	479	2.05%	1991	91	0.39%	2015	2	0.01%
1968	469	2.01%	1992	122	0.52%	Total	23328	100%

Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται ο διαχωρισμός των δεδομένων με βάση της περιόδους που θα μελετηθούν. Παρατηρείται πως παρ' ότι διατίθεται το 46% του στόλου, για την ίδια περίοδο 1985-2015, βρίσκονται στη διάθεση μας μόλις το 7% των συνολικών ατυχημάτων.

Πίνακας 18: Στατιστικά στοιχεία του πίνακα 17.

Period	Years	Ships	Casualties	%
1945-2015	71	14532	23328	100%
1945-1984	40	7819	21655	92.83%
1985-2015	31	6713	1673	7.17%

Από μηχανικής άποψης, το παραπάνω αναγνωρίζεται ως θετικό αποτέλεσμα,, καθώς με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και τη σωστή αντιμετώπιση των προβλημάτων, ο αριθμός των ατυχημάτων μειώθηκε κατά 90%. Από ερευνητικής πάλι οπτικής, προκύπτει μια τρομερή μείωση στον πληθυσμό των δεδομένων, πράγμα που μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα. Για τον λόγο αυτό θα συνεχιστεί η ανάλυση και στις δύο περιόδους. Ένα ακόμα δεδομένο που χρειαζόμαστε για τη μελέτη μας, είναι ο αριθμός των ατυχημάτων που είχε κάθε πλοίο. Έτσι στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζεται ο αριθμός των ατυχημάτων συναρτήσει του αριθμού των πλοίων που έδρασαν, για τις περιόδους κατασκευής 1945-2015 και 1985-2015 αντίστοιχα.

Πίνακας 19: Κατανομή πλοίων συναρτήσει των ατυχημάτων 1945-2015

# of Casualties	Ships with # of Casualties	# of Casualties	Ships with # of Casualties
0	8360	22	6
1	2471	23	8
2	1064	24	12
3	622	25	6
4	425	26	9
5	288	27	2
6	261	28	5
7	185	29	0
8	155	30	2
9	110	31	0
10	95	32	2
11	98	33	0
12	59	34	0
13	58	35	2
14	51	36	0
15	38	37	0
16	33	38	0
17	34	39	0
18	28	40	0
19	18	41	0
20	16	42	1
21	8	Total	14532

Πίνακας 20: Κατανομή πλοίων συναρτήσει των ατυχημάτων 1985-2015

# of Casualties	Ships with # of Casualties
0	5501
1	915
2	207
3	54
4	21
5	6
6	3
7	2
8	1
9	2
10	1
Total	6713

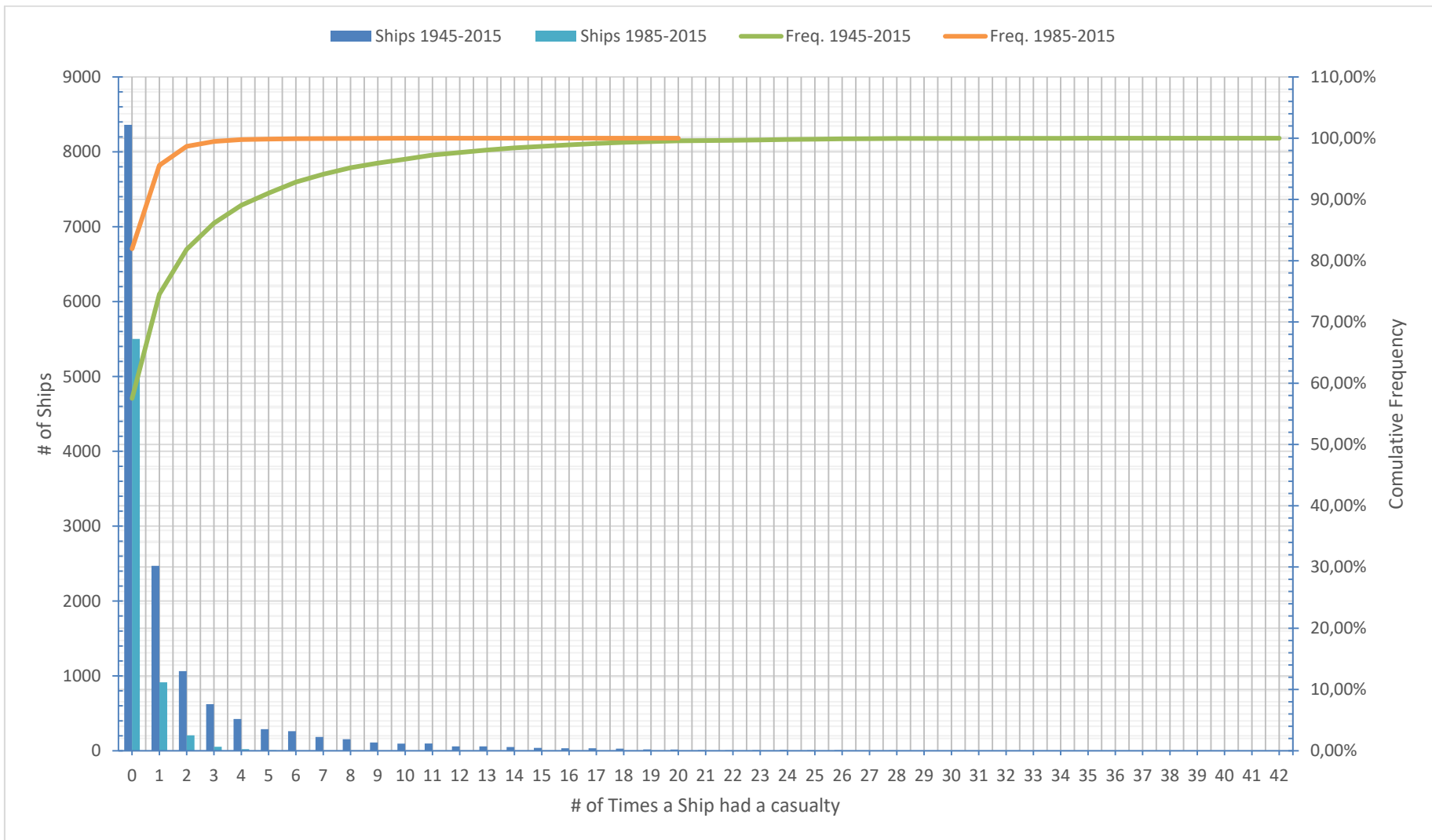
Αξίζει να σημειωθεί πως για τα πλοία που κατασκευάστηκαν πριν το 1985 έχουν αισθητά μεγαλύτερο αριθμό ατυχημάτων ανά πλοίο, απ' ό τι τα πλοία που κατασκευάστηκαν μετά το 1985. Παρ' όλα αυτά όμως, είναι αναγκαία και για τις δύο περιόδους, μία εικόνα της αθροιστικής συχνότητας των πλοίων και των ατυχημάτων που μελετιούνται συναρτήσει των φορών που ένα πλοίο είχε ατύχημα.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει το αθροιστικό ποσοστό των πλοίων και των ατυχημάτων συναρτήσει των φορών που σ' ένα πλοίο συνέβη ένα ατύχημα. Επιλέγουμε να παρουσιάσουμε τα παραπάνω υπό την μορφή πινάκων και διαγραμμάτων. Με τον τρόπο αυτό, ο αναγνώστης έχει στη διάθεση του τα αναλυτικά ποσοστά και τη σχηματική αναπαράστασή τους. Έτσι, τα παρακάτω διαγράμματα μας βοηθούν με το να γνωρίζουμε το ποσοστό των πλοίων και των ατυχημάτων αντίστοιχα, που μελετιούνται σε κάθε περίπτωση.

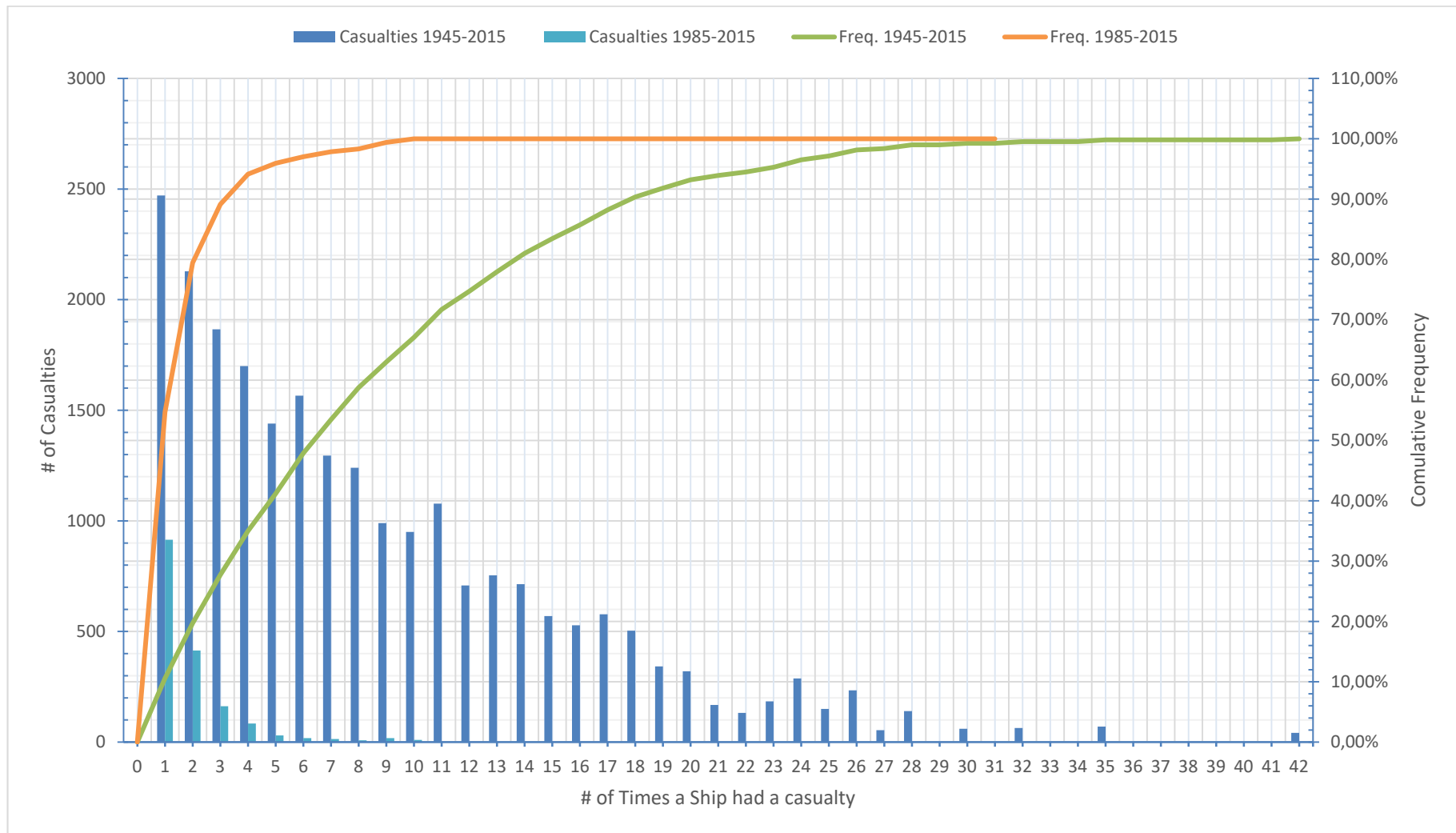
Αν για παράδειγμα θελήσουμε να μελετήσουμε τα πρώτα τρία ατυχήματα, από τις παρακάτω εικόνες γνωρίζουμε πως έχουμε το 86% των πλοίων για την περίοδο 1945-2015, και το 99% για την περίοδο 1985-2015, ενώ έχουμε το 28% των ατυχημάτων και σχεδόν το 90% των ατυχημάτων για τις αντίστοιχες περιόδους.

Πίνακας 21: Αθροιστική κατανομή των πλοίων και των ατυχημάτων συναρτήσει των φορών που σ' ένα πλοίο συνέβη ένα ατύχημα.

# of Casualties	Ships		Casualties		# of Casualties	Ships		Casualties	
	1945-2015	1985-2015	1945-2015	1985-2015		1945-2015	1985-2015	1945-2015	1985-2015
0	57.53%	81.95%	0.00%	0.00%	22	99.66%	-	94.49%	-
1	74.53%	95.58%	10.59%	54.69%	23	99.72%	-	95.28%	-
2	81.85%	98.66%	19.71%	79.44%	24	99.80%	-	96.51%	-
3	86.13%	99.46%	27.71%	89.12%	25	99.84%	-	97.15%	-
4	89.06%	99.78%	35.00%	94.14%	26	99.90%	-	98.16%	-
5	91.04%	99.87%	41.17%	95.94%	27	99.92%	-	98.39%	-
6	92.84%	99.91%	47.89%	97.01%	28	99.95%	-	98.99%	-
7	94.11%	99.94%	53.44%	97.85%	29	99.95%	-	98.99%	-
8	95.18%	99.96%	58.75%	98.33%	30	99.97%	-	99.25%	-
9	95.93%	99.99%	63.00%	99.40%	31	99.97%	-	99.25%	-
10	96.59%	100.00%	67.07%	100.00%	32	99.98%	-	99.52%	-
11	97.26%	-	71.69%	-	33	99.98%	-	99.52%	-
12	97.67%	-	74.73%	-	34	99.98%	-	99.52%	-
13	98.07%	-	77.96%	-	35	99.99%	-	99.82%	-
14	98.42%	-	81.02%	-	36	99.99%	-	99.82%	-
15	98.68%	-	83.46%	-	37	99.99%	-	99.82%	-
16	98.91%	-	85.73%	-	38	99.99%	-	99.82%	-
17	99.14%	-	88.20%	-	39	99.99%	-	99.82%	-
18	99.33%	-	90.36%	-	40	99.99%	-	99.82%	-
19	99.46%	-	91.83%	-	41	99.99%	-	99.82%	-
20	99.57%	-	93.20%	-	42	100.00%	-	100.00%	-
21	99.62%	-	93.92%	-					



Εικόνα 23: Κατανομή των πλοίων ανά τον αριθμό των φορών που είχαν ατύχημα.



Εικόνα 24: Κατανομή του αριθμού των ατυχημάτων ανά της φορές που έδρασαν σ' ένα πλοίο.

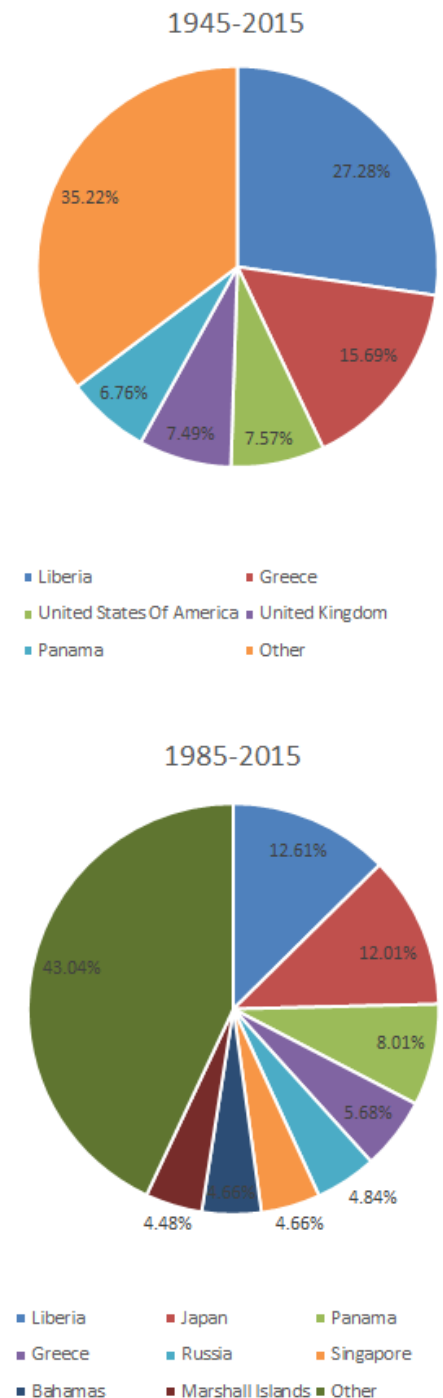
Ένας επιπλέον άξονας που δίνει τη δυνατότητα μελέτης, είναι η σημαία «*Flag*» που είχε το πλοίο την περίοδο του ατυχήματος. Δεδομένο που όπως αναφερθήκαμε στο 3 κεφάλαιο, δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για το «*Fleet at Risk*».

Στο διπλανό σχήμα παρουσιάζεται κατά πρώτον η κατανομή του ποσοστού των ατυχημάτων για της πέντε πιο επικίνδυνες σημαίες, για πλοία που ναυπηγήθηκαν την περίοδο 1945-2015. Ενώ το δεύτερο διάγραμμα στην ίδια εικόνα αφορά την περίοδο 1985-2015.

Συμπληρωματικά παρατίθεται η κατανομή των αντίστοιχων ποσοστών ανά Casualty Type, στους ακόλουθους πίνακες.

Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία για τις έξι πιο επικίνδυνες περιοχές, στην εικόνα 25. Ενώ στους πίνακες 24 και 25, παρουσιάζουμε την κατανομή των ποσοστών αυτών ανά Casualty Type.

Τέλος στην εικόνα 26 παρουσιάζεται, επίσης υπό τη μορφή διαγράμματος πίτας, το ποσοστό των ατυχημάτων ανάλογα με το αν υπήρξε διαρροή φορτίου ή πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον. Ως «*Yes*» συμβολίζεται η μόλυνση του περιβάλλοντος, ως «*No*» η μη διαρροή φορτίου ενώ ως «*Unknown*» συμβολίζονται τα ατυχήματα που δεν γνωρίζουμε αν είχαμε διαρροή ή όχι. Στους ακόλουθους πίνακες 26 και 27 παρουσιάζεται υπό τη μορφή αριθμών η κατανομή των Casualty Type που οδήγησαν σε διαρροή φορτίου.



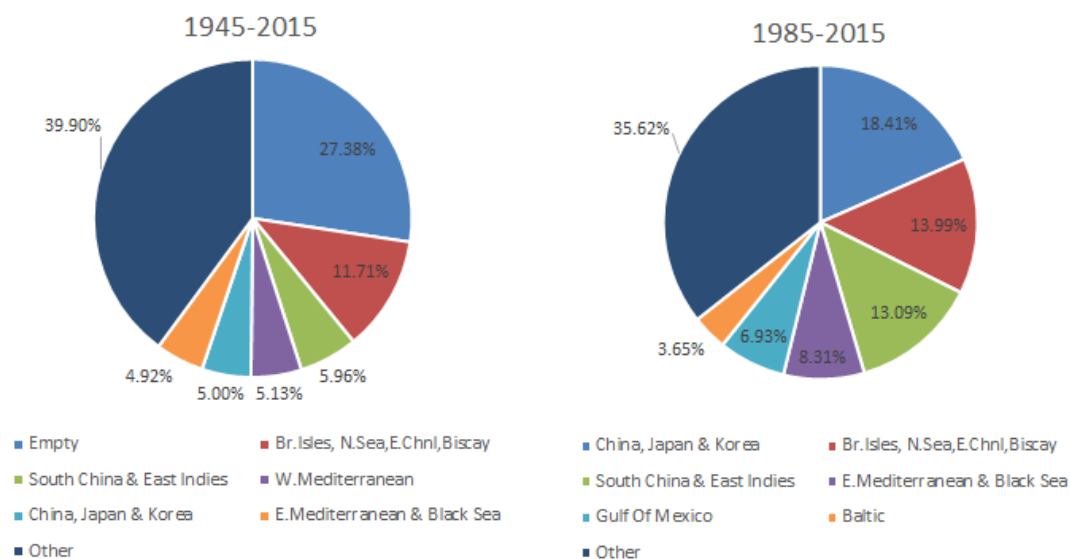
Εικόνα 25: Κατανομή των ατυχημάτων ανά σημαία 1945-2015, 1985-2015.

Πίνακας 22: Κατανομή του ποσοστού των ατυχημάτων της σημαίας ανά Casualty Type 1945-2015.

Flag	%	Hull/ Mchy. Damage	Collision	Wrecked/ Stranded	Contact	Fire/ Explosion	War Loss/ Hostilities	Foundered	Missing
Liberia	27.28%	14.92%	3.11%	3.84%	3.57%	1.53%	0.26%	0.05%	0.00%
Greece	15.69%	8.09%	2.00%	2.60%	1.81%	0.99%	0.15%	0.03%	0.00%
United States Of America	7.57%	3.57%	1.13%	1.17%	1.38%	0.30%	0.01%	0.00%	0.00%
United Kingdom	7.49%	4.41%	0.75%	0.81%	0.91%	0.54%	0.06%	0.02%	0.00%
Panama	6.76%	3.24%	1.18%	0.98%	0.72%	0.46%	0.10%	0.08%	0.00%
Japan	3.11%	0.39%	1.75%	0.63%	0.16%	0.15%	0.02%	0.01%	0.00%
Cyprus	1.84%	0.79%	0.31%	0.21%	0.14%	0.19%	0.18%	0.02%	0.00%
Other	30.27%	12.22%	6.08%	4.95%	3.05%	2.91%	0.72%	0.33%	0.01%

Πίνακας 23: Κατανομή του ποσοστού των ατυχημάτων της σημαίας ανά Casualty Type 1985-2015.

Flag	%	Hull/ Mchy. Damage	Collision	Wrecked/ Stranded	Contact	Fire/ Explosion	War Loss/ Hostilities	Foundered	Missing
Liberia	12.61%	5.02%	3.53%	2.03%	0.84%	0.78%	0.36%	0.06%	-
Japan	12.01%	0.96%	8.13%	2.27%	0.30%	0.30%	0.00%	0.06%	-
Panama	8.01%	1.73%	2.81%	1.91%	0.60%	0.66%	0.06%	0.24%	-
Greece	5.68%	1.49%	2.09%	1.32%	0.54%	0.12%	0.12%	0.00%	-
Russia	4.84%	0.96%	1.67%	1.14%	0.60%	0.48%	0.00%	0.00%	-
Singapore	4.66%	1.43%	1.43%	0.90%	0.48%	0.24%	0.18%	0.00%	-
Bahamas	4.66%	1.25%	1.55%	1.14%	0.60%	0.06%	0.06%	0.00%	-
Marshall Islands	4.48%	1.43%	1.55%	0.90%	0.36%	0.24%	0.00%	0.00%	-
Other	43.04%	13.69%	12.31%	8.61%	3.11%	3.95%	0.66%	0.72%	-



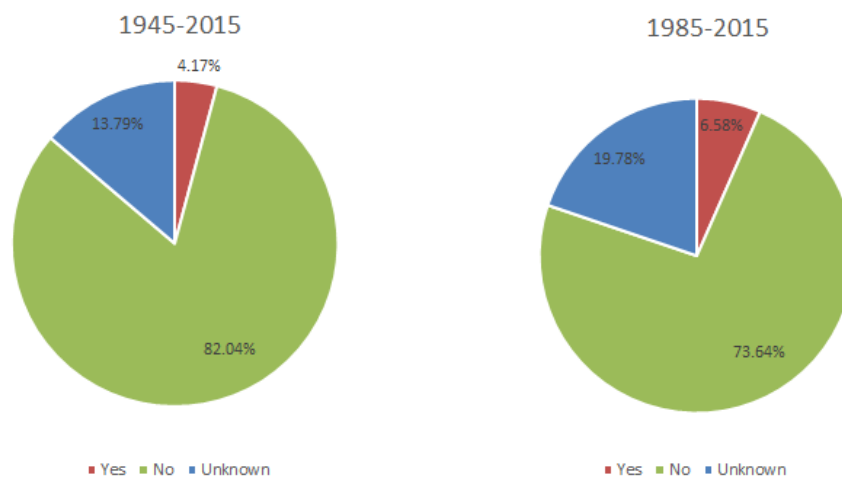
Εικόνα 26: Κατανομή των ατυχημάτων ανά περιοχή 1945-2015, 1985-2015.

Πίνακας 24: Κατανομή του ποσοστού των ατυχημάτων της περιοχής ανά Casualty Type 1945-2015.

Flag	%	Hull/ Mchy. Damage	Collision	Wrecked/ Stranded	Contact	Fire/ Explosion	War Loss/ Hostilities	Foundered	Missing
Empty	27.38%	19.49%	1.03%	2.97%	2.73%	1.07%	0.06%	0.02%	0.00%
Br.Isles, N.Sea,E.Chnl,Biscay	11.71%	5.32%	1.96%	1.71%	1.93%	0.75%	0.00%	0.03%	0.00%
South China & East Indies	5.96%	2.02%	1.83%	0.86%	0.39%	0.67%	0.05%	0.12%	0.00%
W.Mediterranean	5.13%	2.31%	0.73%	0.55%	0.77%	0.74%	0.00%	0.02%	0.00%
China, Japan & Korea	5.00%	1.11%	2.25%	0.87%	0.35%	0.37%	0.00%	0.04%	0.00%
E.Mediterranean & Black Sea	4.92%	1.72%	1.18%	0.92%	0.50%	0.51%	0.05%	0.03%	0.00%
Other	39.90%	15.64%	7.31%	7.29%	5.07%	2.96%	1.33%	0.28%	0.02%

Πίνακας 25: Κατανομή του ποσοστού των ατυχημάτων της περιοχής ανά Casualty Type 1985-2015.

Flag	%	Hull/ Mchy. Damage	Collision	Wrecked/ Stranded	Contact	Fire/ Explosion	War Loss/ Hostilities	Foundered	Missing
China, Japan & Korea	18.41%	2.03%	11.36%	2.99%	0.90%	1.08%	0.00%	0.06%	-
Br.Isles, N.Sea,E.Chnl,Biscay	13.99%	6.93%	3.65%	1.67%	1.43%	0.30%	0.00%	0.00%	-
South China & East Indies	13.09%	1.91%	5.92%	2.75%	0.30%	1.32%	0.42%	0.48%	-
E.Mediterranean & Black Sea	8.31%	2.21%	2.03%	2.27%	0.84%	0.78%	0.06%	0.12%	-
Gulf Of Mexico	6.93%	1.14%	2.57%	2.15%	0.78%	0.30%	0.00%	0.00%	-
Baltic	3.65%	0.36%	1.14%	1.49%	0.42%	0.24%	0.00%	0.00%	-
Other	35.62%	13.39%	8.43%	6.87%	2.75%	2.81%	0.96%	0.42%	-



Εικόνα 27: Κατανομή των ατυχημάτων που οδήγησαν σε ρύπανση 1945-2015, 1985-2015.

Πίνακας 26: Κατανομή του αριθμού των ατυχημάτων που οδήγησαν σε ρύπανση ανά Casualty Type 1945-2015.

Pollution	#	Hull/ Mchy. Damage	Collision	Wrecked/ Stranded	Contact	Fire/ Explosion	War Loss/ Hostilities	Foundered	Missing
Yes	973	304	226	232	84	65	26	36	0
No	19139	9656	2931	2758	2372	1257	117	46	2
Unknown	3216	1149	648	551	284	328	207	46	3

Πίνακας 27: Κατανομή του αριθμού των ατυχημάτων που οδήγησαν σε ρύπανση ανά Casualty Type 1985-2015.

Pollution	#	Hull/ Mchy. Damage	Collision	Wrecked/ Stranded	Contact	Fire/ Explosion	War Loss/ Hostilities	Foundered	Missing
Yes	110	27	45	12	17	3	1	5	-
No	1232	324	454	79	260	87	18	10	-
Unknown	331	117	88	33	61	24	5	3	-

5.3 Αποτελέσματα

Ανακεφαλαιώνοντας, μέχρι στιγμής έχει εξετασθεί για τις περιόδους κτήσεως 1945-2015 και 1985-2015, ο αριθμός των ατυχημάτων που έχουν συμβεί στα πλοία αυτά, τον αριθμό των πλοίων που έχουν εμπλακεί στα παραπάνω ατυχήματα καθώς και τον αριθμό των ατυχημάτων που έχει συμβεί ανά πλοίο.

Γνωρίζεται, για τις παραπάνω περιόδους επίσης, η εθνικότητα της σημαίας με τα περισσότερα ατυχήματα, τις περιοχές με τα περισσότερα ατυχήματα καθώς και την κατανομή τους στις διάφορες κατηγορίες ατυχήματος.

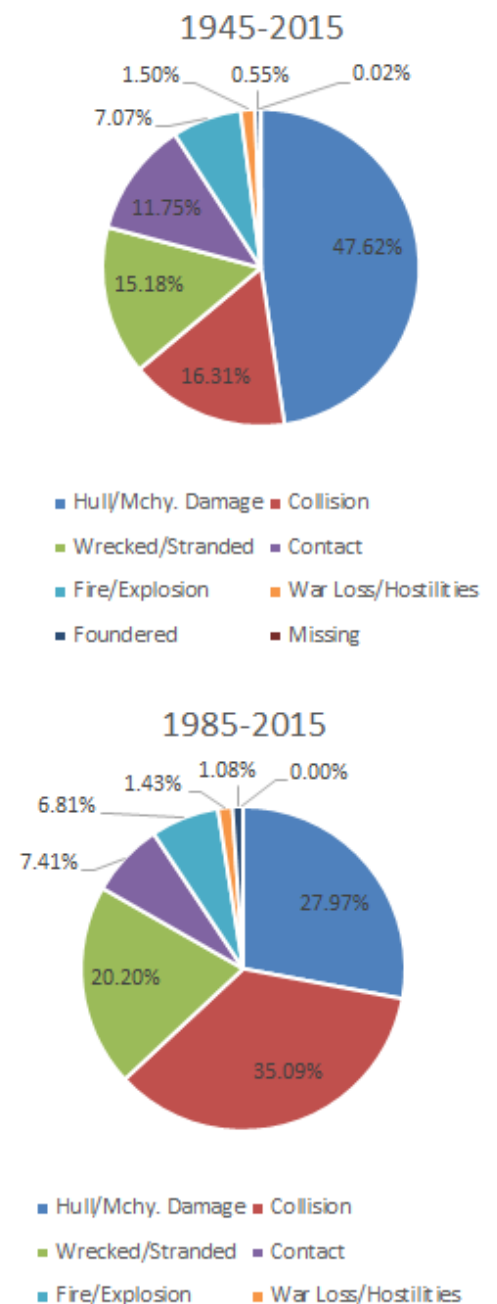
Στην παρούσα υπό ενότητα θα αναλυθεί η κατανομή των ατυχημάτων στις διάφορες κατηγορίες και το αν αυτές σχετίζονται με το έτος κτήσεως των πλοίων.

Στη διπλανή εικόνα παρουσιάζεται υπό τη μορφή πίτας η κατανομή του ποσοστού των ατυχημάτων στις διάφορες κατηγορίες για τις περιόδους κτήσεως 1945-2015 και 1985-2015 αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί πως η κατηγορία «*Hull/ Mach. Damage*» φαίνεται να μοιράζεται το ποσοστό της με αυτό της κατηγορίας «*Collision*» καθώς αναφερόμαστε σε όλο και νεότερης τεχνολογίας πλοία.

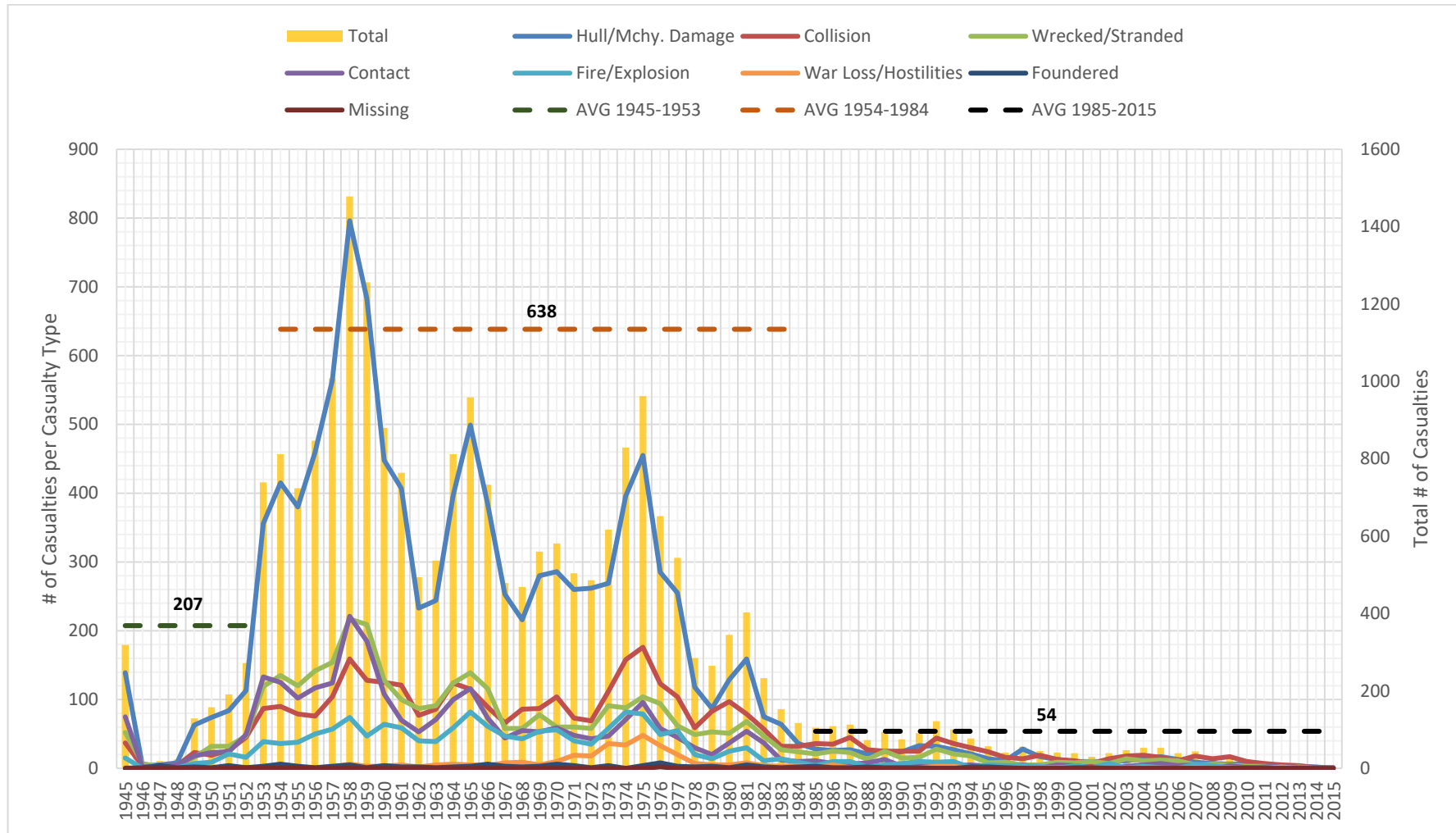
Στο διάγραμμα της εικόνας 29, παρουσιάζεται ο αριθμός των ατυχημάτων που περιέχει κάθε κατηγορία «*Casualty Type*» υπό τη μορφή συνεχούς γραμμής καθώς και ο συνολικός αριθμός ατυχημάτων ανά έτος κτήσεως υπό τη μορφή ράβδου. Σημειώνουμε πως την περίοδο 1945-1953, περίοδος 9 ετών, έχουμε 1867 ατυχήματα, δηλαδή 207 ατυχήματα ανά έτος. Ενώ την περίοδο 1954-1984 και 1985-2015, περιόδους 31 ετών, έχουμε 19788 και 1673 ατυχήματα, δηλαδή κατά μέσο όρο 638 και 54 ατυχήματα ανά έτος αντίστοιχα.

Στον πίνακα 28 παρουσιάζεται η κατανομή των «*Casualty Type*» ανά έτος κτήσεως. Τα στοιχεία του πίνακα οδήγησαν στη δημιουργία του γραφήματος των εικόνων 29 και 30.

Στην εικόνα 30 παρουσιάζεται η αθροιστική κατανομή κάθε κατηγορίας «*Casualty Type*», ώστε να έχουμε μια καλύτερη εικόνα για το μέγεθος των δεδομένων που εξαιρούμε όταν επιλέγουμε να μελετήσουμε πλοία νεότερης ηλικίας.



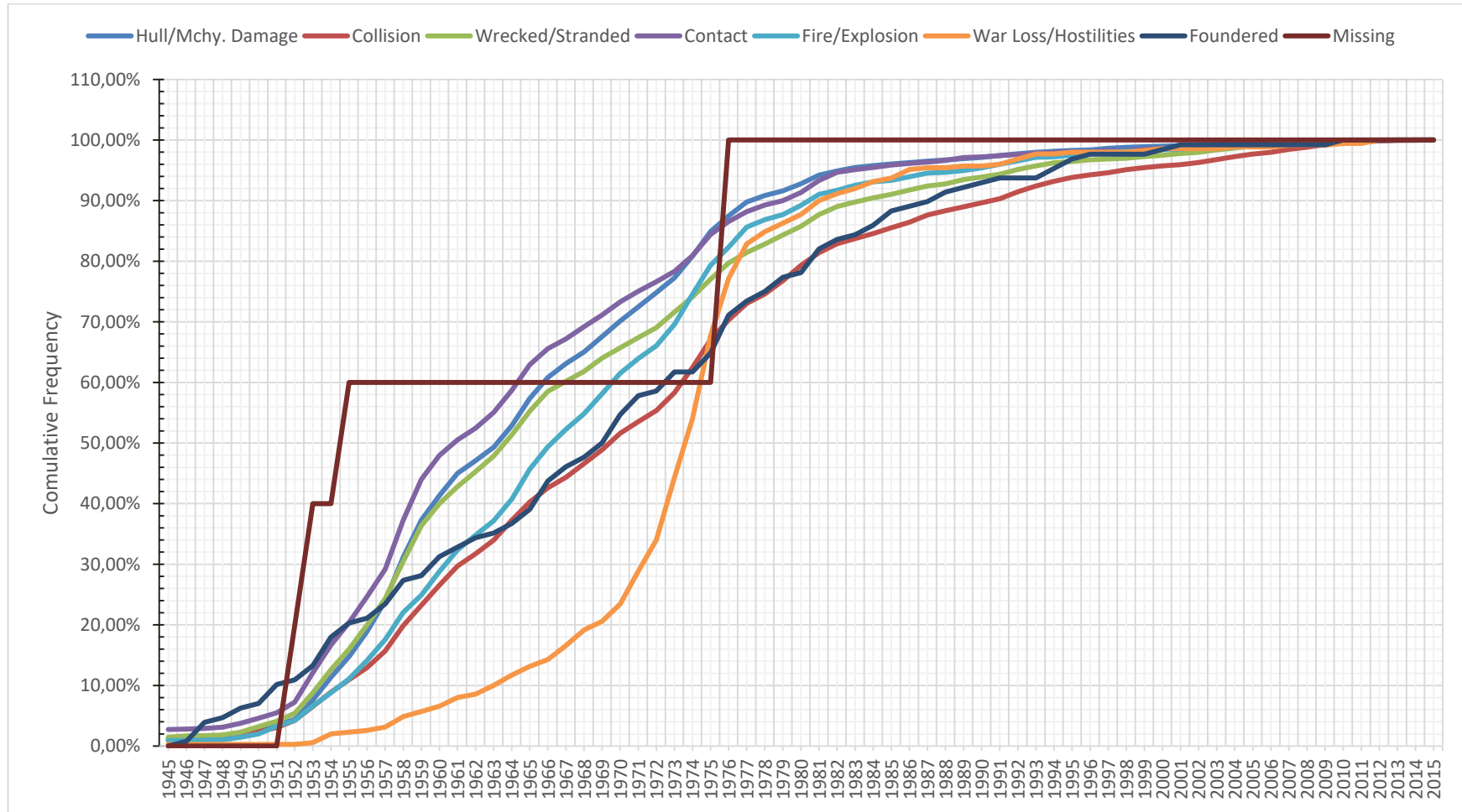
Εικόνα 28: Το ποσοστό των *Casualty Types* για τις περιόδους 1945-2015, 1985-2015.



Εικόνα 29: Αριθμός ατυχημάτων των Casualty Type ανά έτος κήσεως.

Πίνακας 28: Κατανομή των Casualty Type ανά έτος κήσεως.

Year	Hull/ Mchy. Damage	Collision	Wrecked/ Stranded	Contact	Fire/ Explosion	War Loss/ Hostilities	Founderec	Missing	Total	Year	Hull/ Mchy. Damage	Collision	Wrecked/ Stranded	Contact	Fire/ Explosio n	War Loss/ Hostilities	Foundered	Missing	Total
1945	139	37	52	75	15	1	0	0	319	1981	159	79	68	54	30	8	5	0	403
1946	4	3	7	2	0	0	1	0	17	1982	75	57	47	37	11	4	2	0	233
1947	5	4	2	3	1	0	4	0	19	1983	64	32	27	12	14	3	1	0	153
1948	8	4	4	5	1	0	1	0	23	1984	36	32	24	10	9	4	2	0	117
1949	63	23	16	18	7	0	2	0	129	1985	28	36	21	11	4	2	3	0	105
1950	74	19	32	23	9	0	1	0	158	1986	26	35	25	7	10	5	1	0	109
1951	84	26	32	24	21	0	4	0	191	1987	27	45	23	6	10	1	1	0	113
1952	113	45	47	49	16	0	1	1	272	1988	21	27	13	8	2	0	2	0	73
1953	356	87	119	133	39	1	3	1	739	1989	24	25	25	13	5	1	1	0	94
1954	415	90	135	125	36	5	6	0	812	1990	24	25	15	3	7	0	1	0	75
1955	380	79	120	102	38	1	3	1	724	1991	33	25	16	5	10	1	1	0	91
1956	460	76	142	117	50	1	1	0	847	1992	32	44	28	6	9	3	0	0	122
1957	564	104	154	124	57	2	3	0	1008	1993	27	36	21	4	10	3	0	0	101
1958	796	159	217	221	74	6	5	0	1478	1994	21	30	18	5	1	0	2	0	77
1959	683	128	209	185	47	3	1	0	1256	1995	14	24	8	3	5	1	2	0	57
1960	448	125	128	108	64	3	4	0	880	1996	11	16	9	0	4	0	1	0	41
1961	407	121	100	70	59	5	2	0	764	1997	28	14	5	5	4	0	0	0	56
1962	233	77	87	53	40	2	2	0	494	1998	17	19	5	1	3	0	0	0	45
1963	244	86	91	71	39	5	1	0	537	1999	13	13	9	5	0	1	0	0	41
1964	397	124	124	100	59	6	2	0	812	2000	10	11	8	4	4	1	1	0	39
1965	499	115	139	116	82	5	3	0	959	2001	10	7	10	1	1	0	1	0	30
1966	384	89	116	73	61	4	6	0	733	2002	10	14	7	1	7	0	0	0	39
1967	253	66	58	44	47	8	3	0	479	2003	11	18	14	3	1	0	0	0	47
1968	216	86	58	55	43	9	2	0	469	2004	14	19	11	5	3	1	0	0	53
1969	280	87	78	53	54	5	3	0	560	2005	17	16	12	7	1	0	0	0	53
1970	286	104	60	59	56	10	6	0	581	2006	13	11	11	4	0	0	0	0	39
1971	260	73	60	48	40	19	4	0	504	2007	9	18	5	5	6	1	0	0	44
1972	262	69	58	43	35	18	1	0	486	2008	7	14	6	0	4	0	0	0	31
1973	269	112	91	47	58	36	4	0	617	2009	6	17	5	4	1	0	0	0	33
1974	396	158	88	71	82	34	0	0	829	2010	7	10	3	1	0	1	1	0	23
1975	455	176	104	96	79	48	4	0	962	2011	2	7	3	2	0	0	0	0	14
1976	285	123	94	58	49	33	8	2	652	2012	1	5	0	3	1	2	0	0	12
1977	255	104	62	45	55	20	3	0	544	2013	3	4	2	1	1	0	0	0	11
1978	118	59	49	30	20	7	2	0	285	2014	2	1	0	0	0	0	0	0	3
1979	87	83	53	20	14	5	3	0	265	2015	0	1	0	1	0	0	0	0	2
1980	129	97	51	37	25	5	1	0	345	Total	11109	3805	3541	2740	1650	350	128	5	23328



Εικόνα 30: Αθροιστική συχνότητα των Casualty Type ανά έτος κτήσεως.

Επιπροσθέτως, παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα ο μέσος όρος ατυχημάτων ανά έτος που έχει κάθε κατηγορία «*Casualty Type*» για της περιόδους που έχουμε ορίσει. Αυτό παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 29: Μέσος όρος ατυχημάτων ανά έτος ανά *Casualty Type* για τις διάφορες περιόδους.

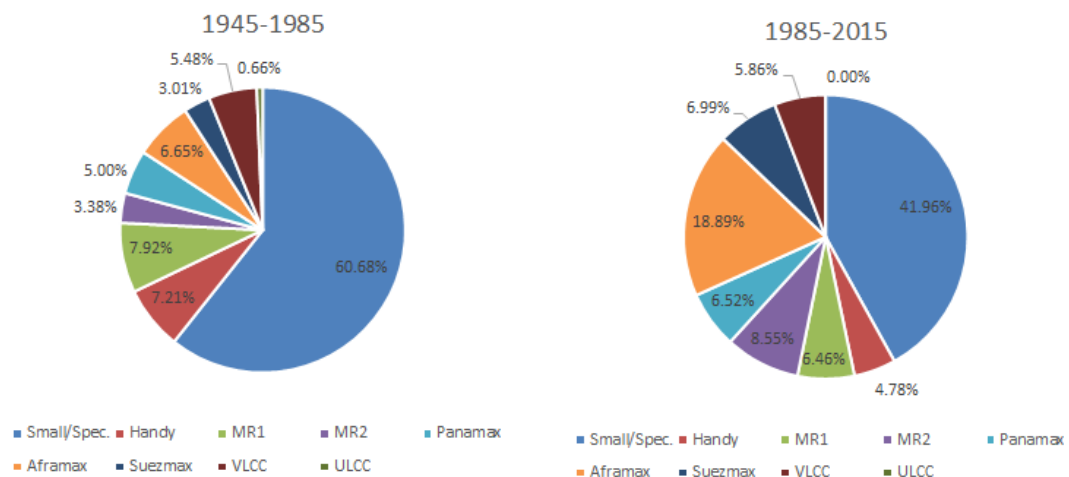
Period	Years	Hull/ Mchy. Damage	Collision	Wrecked/ Stranded	Contact	Fire/ Explosion	War Loss/ Hostilities	Foundered	Missing
1945-2015	71	156	54	50	39	23	5	2	0.07
1945-1984	40	266	80	80	65	38	8	3	0.13
1985-2015	31	15	19	11	4	4	1	1	0.00
1954-1984	31	316	96	93	74	46	10	3	0.10
1945-1953	9	94	28	35	37	12	0	2	0.22

Πριν όμως προβούμε στην παρουσίαση της κατανομής των πρώτων ατυχημάτων,

«*1st Casualty*», και των πρώτων σημαντικών ατυχημάτων «*1st Serious Casualty*» των «*Casualty Type*» ανά έτος κτήσεως, αξίζει να δούμε πρώτα την κατανομή των «*Casualty Type*» ανά «*Ship Type Group*».

Έτσι στην ακόλουθη εικόνα, παρουσιάζεται υπό τη μορφή πίτας το ποσοστό των ατυχημάτων που παρουσίασαν τα «*Ship Type Group*» για τις περιόδους 1945-2015 και 1985-2015.

Ενώ στους πίνακες που ακολουθούν, παρουσιάζεται η κατανομή των «*Casualty Types*» ανά «*Ship Type Group*».



Εικόνα 31: Κατανομή των ατυχημάτων ανά *Ship Type Group*.

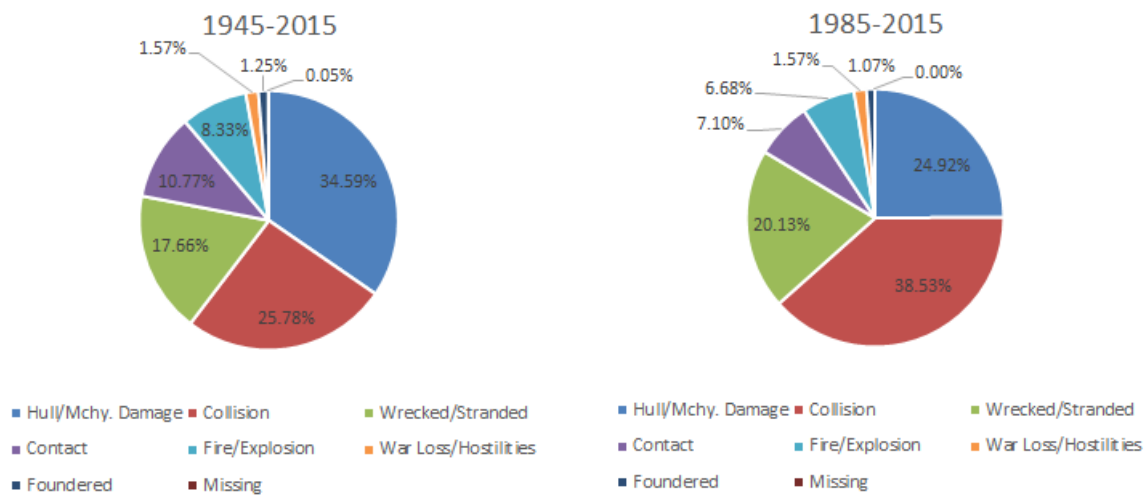
Πίνακας 30: Κατανομή των *Casualty Types* ανά *Ship Type Group* για την περίοδο 1945-2015.

	Hull/ Mchy. Damage	Collision	Wrecked/ Stranded	Contact	Fire/ Explosion	War Loss/ Hostilities	Foundered	Missing
Small/Spec.	6823	2244	2232	1664	985	85	117	5
Handy	721	319	252	234	134	16	5	0
MR1	840	297	291	278	120	20	2	0
MR2	303	157	152	130	42	4	1	0
Panamax	531	190	213	148	69	16	0	0
Aframax	701	315	234	157	115	28	2	0
Suezmax	384	115	71	49	63	19	1	0
VLCC	709	152	92	69	115	142	0	0
ULCC	97	16	4	11	7	20	0	0

Πίνακας 31: Κατανομή των *Casualty Types* ανά *Ship Type Group* για την περίοδο 1985-2015.

	Hull/ Mchy. Damage	Collision	Wrecked/ Stranded	Contact	Fire/ Explosion	War Loss/ Hostilities	Foundered	Missing
Small/Spec.	163	282	137	44	48	11	17	0
Handy	18	29	14	6	13	0	0	0
MR1	29	29	26	10	11	3	0	0
MR2	40	48	27	14	14	0	0	0
Panamax	29	30	38	7	1	4	0	0
Aframax	105	98	66	30	13	3	1	0
Suezmax	50	30	20	7	8	2	0	0
VLCC	34	41	10	6	6	1	0	0
ULCC	0	0	0	0	0	0	0	0

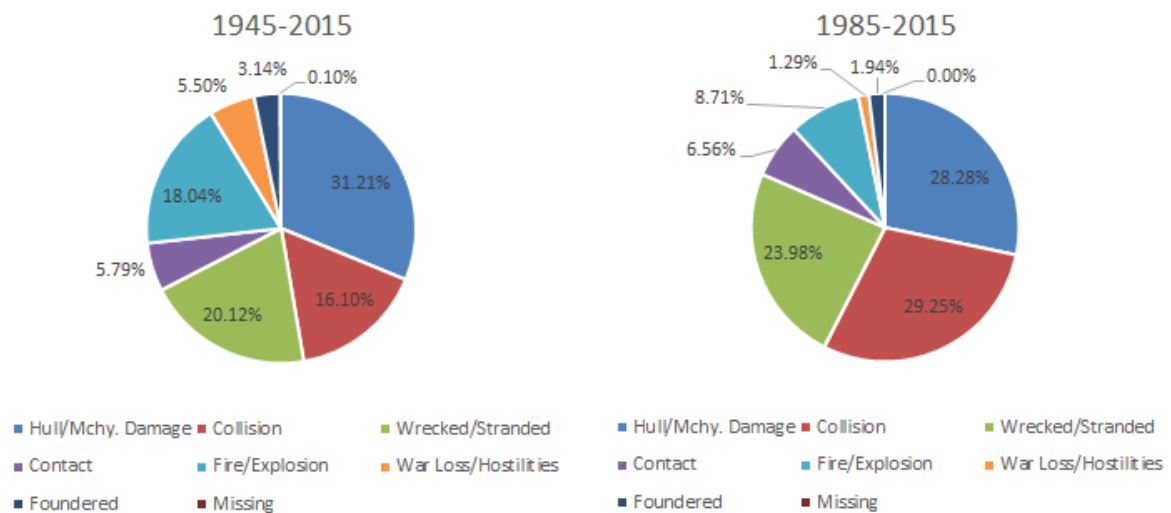
Ολοκληρώνοντας, παρουσιάζεται η κατανομή του πρώτου ατυχήματος «*1st Casualty*» ανά «*Casualty Type*» για κάθε έτος κτήσεως και η κατανομή του πρώτου σοβαρού ατυχήματος «*1st Serious Casualty*» ανά «*Casualty Type*» για κάθε έτος κτήσεως.



Εικόνα 32: Ποσοστό πρώτου ατυχήματος ανά Casualty Type.

Πίνακας 32: Μέσος όρος πρώτου ατυχήματος ανά έτος ανά Casualty Type για τις διάφορες περιόδους

Period	Years	Hull/ Mchy. Damage	Collision	Wrecked/ Stranded	Contact	Fire/ Explosion	War Loss/ Hostilities	Foundered	Missing
1945-2015	71	30	22	15	9	7	1	1	0.04
1945-1984	40	46	28	21	14	11	2	2	0.08
1985-2015	31	10	15	8	3	3	1	0	0.00
1954-1984	31	55	34	25	17	13	2	2	0.06
1945-1953	9	14	6	8	6	5	0.11	2	0.11



Εικόνα 33: Κατανομή πρώτου σημαντικού ατυχήματος ανά Casualty Type.

Πίνακας 33: Μέσος όρος πρώτου σοβαρού ατυχήματος ανά έτος ανά Casualty Type για τις διάφορες περιόδους

Period	Years	Hull/ Mchy. Damage	Collision	Wrecked/ Stranded	Contact	Fire/ Explosion	War Loss/ Hostilities	Foundered	Missing
1945-2015	71	18	9	12	3	10	3	2	0.06
1945-1984	40	25	10	15	4	16	5	3	0.10
1985-2015	31	8	9	7	2	3	0	1	0.00
1954-1984	31	31	12	18	5	19	7	3	0.06
1945-1953	9	7	2	4	1	6	0	2	0.22

Πίνακας 34: Κατανομή του πρώτου ατυχήματος ανά έτος κήσεως ανά Casualty Type.

Year	Hull/ Mchy. Damage	Collision	Wrecked / Stranded	Contact	Fire/ Explosio n	War Loss/ Hostilitie s	Founderec	Missing	Year	Hull/ Mchy. Damage	Collision	Wrecked / Stranded	Contact	Fire/ Explosio n	War Loss/ Hostilitie s	Founderec	Missing
1945	11	6	11	13	6	0	0	0	1981	42	39	21	14	11	3	2	0
1946	1	1	2	0	0	0	1	0	1982	22	42	20	13	6	2	2	0
1947	1	0	1	1	1	0	4	0	1983	24	15	13	7	7	2	0	0
1948	2	2	3	0	1	0	1	0	1984	15	19	14	4	6	3	2	0
1949	10	7	6	3	1	0	1	0	1985	14	22	11	7	2	1	2	0
1950	14	4	6	8	4	0	1	0	1986	11	25	13	3	8	3	0	0
1951	19	9	8	4	9	0	4	0	1987	13	27	16	3	2	1	0	0
1952	23	10	11	11	10	0	1	1	1988	14	25	7	3	2	0	1	0
1953	41	17	25	17	9	1	2	0	1989	16	21	11	9	2	1	1	0
1954	55	28	25	21	11	3	5	0	1990	11	21	13	1	4	0	1	0
1955	54	13	19	27	15	1	1	0	1991	24	17	9	3	5	1	0	0
1956	56	20	25	17	4	0	1	0	1992	20	32	19	2	5	1	0	0
1957	74	19	21	22	10	0	1	0	1993	16	30	15	3	10	3	0	0
1958	103	27	28	31	10	1	1	0	1994	12	24	15	3	1	0	2	0
1959	87	23	37	30	13	1	1	0	1995	12	22	5	2	5	1	2	0
1960	61	31	25	20	10	0	2	0	1996	10	12	9	0	3	0	1	0
1961	49	30	18	12	13	0	2	0	1997	10	10	5	3	3	0	0	0
1962	44	27	26	10	11	1	2	0	1998	8	14	3	1	3	0	0	0
1963	32	28	24	13	12	0	0	0	1999	9	12	7	5	0	1	0	0
1964	47	40	25	21	19	0	2	0	2000	7	10	7	4	3	1	1	0
1965	59	39	28	18	14	0	1	0	2001	9	6	8	1	0	0	1	0
1966	46	36	33	19	11	1	2	0	2002	8	12	6	1	6	0	0	0
1967	38	22	19	12	13	1	3	0	2003	9	17	12	2	1	0	0	0
1968	49	43	14	13	14	1	1	0	2004	12	16	11	5	3	1	0	0
1969	70	38	23	11	23	0	3	0	2005	11	14	8	7	1	0	0	0
1970	64	33	26	21	13	0	3	0	2006	12	10	10	2	0	0	0	0
1971	65	33	22	16	11	5	3	0	2007	8	15	5	5	6	1	0	0
1972	63	22	23	12	12	1	0	0	2008	6	14	6	0	4	0	0	0
1973	73	42	32	17	18	6	2	0	2009	5	14	5	4	0	0	0	0
1974	94	58	30	17	26	9	0	0	2010	7	10	3	1	0	1	1	0
1975	104	67	43	26	18	12	2	0	2011	2	6	3	2	0	0	0	0
1976	71	54	38	24	18	12	3	2	2012	1	4	0	2	1	2	0	0
1977	49	46	28	21	20	9	1	0	2013	3	3	2	1	1	0	0	0
1978	38	41	26	11	6	0	0	0	2014	2	1	0	0	0	0	0	0
1979	29	48	27	9	8	1	1	0	2015	0	1	0	1	0	0	0	0
1980	34	45	20	13	9	2	0	0	Total	2135	1591	1090	665	514	97	77	3

Πίνακας 35: Κατανομή του πρώτου σοβαρού ατυχήματος ανά έτος κήσεως ανά Casualty Type.

Year	Hull/ Mchy. Damage	Collision	Wrecked / Stranded	Contact	Fire/ Explosio n	War Loss/ Hostilitie s	Founderec	Missing	Year	Hull/ Mchy. Damage	Collision	Wrecked / Stranded	Contact	Fire/ Explosio n	War Loss/ Hostilitie s	Founderec	Missing
1945	12	4	4	2	10	0	0	0	1981	37	12	30	3	15	6	5	0
1946	0	0	1	0	0	0	1	0	1982	27	12	16	5	11	2	2	0
1947	2	0	0	0	1	0	4	0	1983	17	7	8	3	7	2	1	0
1948	1	0	2	1	1	0	1	0	1984	11	10	10	6	9	4	2	0
1949	6	2	5	2	1	0	2	0	1985	15	8	10	4	2	2	3	0
1950	3	1	7	0	4	0	1	0	1986	5	12	14	1	8	1	1	0
1951	7	2	6	1	10	0	4	0	1987	14	14	11	3	7	1	1	0
1952	13	3	2	3	11	0	1	1	1988	10	8	9	1	1	0	2	0
1953	15	6	13	3	16	0	3	1	1989	10	10	17	5	1	1	1	0
1954	38	7	13	3	13	1	6	0	1990	7	9	7	1	5	0	1	0
1955	26	9	13	2	12	0	3	1	1991	12	7	8	3	4	1	1	0
1956	21	7	12	3	15	0	1	0	1992	13	15	15	2	7	1	0	0
1957	31	7	16	3	15	0	3	0	1993	15	14	15	2	8	1	0	0
1958	44	15	18	2	23	0	5	0	1994	15	11	11	2	1	0	2	0
1959	34	12	16	2	10	2	1	0	1995	5	9	6	0	2	1	2	0
1960	25	11	15	7	20	1	4	0	1996	5	7	5	0	3	0	1	0
1961	25	5	14	5	21	3	2	0	1997	18	13	1	4	4	0	0	0
1962	18	5	10	1	11	2	2	0	1998	11	10	5	1	2	0	0	0
1963	20	8	10	3	15	3	1	0	1999	12	7	9	5	0	1	0	0
1964	36	13	22	5	22	4	2	0	2000	6	7	7	4	3	1	1	0
1965	32	10	19	2	26	2	3	0	2001	6	4	9	1	1	0	1	0
1966	27	7	23	8	14	2	6	0	2002	7	14	5	0	6	0	0	0
1967	17	8	12	4	17	6	3	0	2003	7	14	11	1	1	0	0	0
1968	24	10	15	8	26	4	2	0	2004	13	14	7	4	3	1	0	0
1969	30	9	21	3	29	4	3	0	2005	14	11	10	6	1	0	0	0
1970	21	17	15	8	29	8	6	0	2006	12	8	10	4	0	0	0	0
1971	33	8	18	9	17	11	4	0	2007	6	14	4	3	4	0	0	0
1972	27	7	15	4	18	15	1	0	2008	7	9	6	0	4	0	0	0
1973	23	14	26	5	36	21	4	0	2009	6	8	4	1	1	0	0	0
1974	50	29	29	13	37	25	0	0	2010	7	8	2	0	0	0	1	0
1975	62	24	32	9	39	35	4	0	2011	0	5	3	1	0	0	0	0
1976	38	16	25	14	31	24	8	1	2012	1	1	0	1	1	0	0	0
1977	46	14	24	9	26	13	3	0	2013	2	1	2	1	1	0	0	0
1978	37	16	22	8	11	7	2	0	2014	2	0	0	0	0	0	0	0
1979	28	20	19	2	10	3	3	0	2015	0	0	0	0	0	0	0	0
1980	45	17	19	4	15	2	1	0	Total	1272	656	820	236	735	224	128	4

Κεφάλαιο 6: Πιθανοθεωρητική μελέτη

6.1 Εισαγωγή

Μέχρι στιγμής έχουμε εξετάσει ένα αρκετά μεγάλο εύρος διασταυρώσεων των δεδομένων μας. Ήμαστε σε θέση να γνωρίζουμε αρκετά στοιχεία τόσο για τον στόλο μας όσο και για το σύνολο των ατυχημάτων μας. Παρ' όλα αυτά όμως ο σκοπός της μελέτης μας δεν έχει επιτευχθεί ακόμα.

Ο σκοπός κάθε επιστημονικής στατιστικής ανάλυσης δεν σταματά στο να γνωρίζουμε απλά τα ποσοστά των κατηγοριών που έχουμε χωρίσει το δείγμα μας, αλλά επεκτείνεται στην προσπάθεια πρόβλεψης μελλοντικών ενδεχόμενων, από τα είδη υπάρχοντα στατιστικά στοιχεία.

Για να μπορέσουμε να επιτύχουμε το παραπάνω, σ' ένα πρόβλημα τόσο σύνθετο όσο τα ναυτικά ατυχήματα, χρειαζόμαστε μια μέθοδο η οποία να μπορεί να κινείται ελεύθερα πάνω σε δύο διαφορετικούς χρονικά άξονες. Ο ένας από αυτούς είναι φυσικά η ηλικία του πλοίου, ή καλύτερα ο άξονας που έχει σαν αφειτηρία τη ναυπήγηση του σκάφους και ως πέρας την απόσυρση του από την αγορά. Ενώ ο δεύτερος άξονας πρέπει να περιέχει, τον πρωταγωνιστή της ανάλυσης μας, τα ναυτικά ατυχήματα, που μπορεί ένα πλοίο να συναντήσει ή και όχι, κατά τη διάρκεια της ζωής του. Ή αν το διατυπώσουμε καλύτερα τη χρονική σειρά των ατυχημάτων δηλαδή το πρώτο ατύχημα, όπως είδαμε στο τέλος του προηγούμενου κεφαλαίου, το δεύτερο και ούτω καθεξής.

Για να μπορέσουμε να κατασκευάσουμε μια τέτοια μέθοδο, αρκεί να καταφύγουμε στον αρχικό μας στόλο. Έτσι κι αλλιώς, από αυτόν εξαρτάται η ύπαρξη των ατυχημάτων. Η πρώτη κατηγοριοποίηση που μας ενδιαφέρει είναι αυτή του αριθμού των ατυχημάτων. Είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε, από τη μέχρι τώρα ανάλυση μας, πως ο μέγιστος αριθμός ατυχημάτων που είχε ένα πλοίο για την περίοδο 1945-2015 ήταν 42.

Έτσι λοιπόν, αν ορίσουμε ως " a_i ", τον αριθμό των πλοίων που είχαν, κατά τη διάρκεια της ζωής τους, ακριβώς i ατυχήματα, τότε ο στόλος μας μπορεί να παρασταθεί από την παρακάτω εξίσωση.

$$Fleet = a_0 + a_1 + a_2 + \dots + a_{42}$$

Μπορούμε εύκολα να αντικαταστήσουμε τον αριθμό 42, από μια μεταβλητή n , η οποία εκφράζει τον μέγιστο αριθμό ατυχημάτων που είχε ο στόλος μας στην παρούσα περίοδο μελέτης.

$$Fleet = a_0 + a_1 + a_2 + \dots + a_n$$

Χωρίς βλάβη της γενικότητας, μπορούμε να αντικαταστήσουμε την ακολουθία, στην οποία μετατρέψαμε την αρχική μας εξίσωση, από το άθροισμα όλων των όρων της εξίσωσης.

$$Fleet = \sum_{i=0}^n a_i$$

Θέτοντας το δεξί μέλος της παραπάνω εξίσωσης ίσο με μια τυχαία μεταβλητή a'_0 ,

$$a'_0 = \sum_{i=0}^n a_i = Fleet$$

Τότε καταφέραμε να εκφράσουμε το συνολικό μας στόλο ως το άθροισμα των πλοίων που έχουν από 0 και πάνω ατυχήματα.

Μπορούμε να επαναλάβουμε την ίδια διαδικασία εξαιρώντας από το άθροισμα μας, τον αριθμό των πλοίων που είχαν ακριβώς 0 ατυχήματα, και να αθροίσουμε μόνο τους όρους που περιέχουν πλοία από 1 ατύχημα και άνω.

$$Fleet = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i, \quad \text{θέτοντας ως } a'_1 = \sum_{i=1}^n a_i$$

Κάνοντας, έτσι, το στόλο μας να εκφράζεται από τον αριθμό των πλοίων που δεν είχαν ατύχημα συν των αριθμό των πλοίων που είχαν από 1 ατύχημα και άνω.

$$Fleet = a_0 + a'_1$$

Φυσικά μπορούμε να επαναλάβουμε την παραπάνω λογική $(n-1)$ φορές αλλάζοντας μόνο τον τρόπο που εκφράζουμε τον αρχικό μας στόλο.

$$Fleet = a_0 + a_1 + a_2 + \dots + \sum_{i=(n-1)}^n a_i$$

$$Fleet = a_0 + a_1 + a_2 + \dots + a'_{(n-1)}$$

Αυτό που έχουμε καταφέρει μέχρι στιγμής είναι, ότι μπορούμε να εκφράσουμε τον αρχικό μας στόλο, χωρίς να είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τον ακριβή αριθμό των μέγιστων ατυχημάτων που είχε ένα πλοίο. Ή ακόμα καλύτερα μπορούμε να ορίσουμε τον στόλο μας με βάση τον αριθμό του ατυχήματος που θέλουμε εμείς να δώσουμε βαρύτητα.

Αν για παράδειγμα, κρίνουμε πως μας ενδιαφέρει να εξετάσουμε τα πρώτα 3 ατυχήματα μπορούμε να εκφράσουμε τον στόλο μας όπως φαίνεται παρακάτω.

$$Fleet = a_0 + a_1 + a_2 + \dots + a'_3$$

Διαιρώντας και τα δύο μέλη με τον αριθμό των πλοίων του αρχικού μας στόλου προκύπτει μια σταθερή ποσότητα, ίση με την μονάδα.

$$\frac{Fleet}{Fleet} = \frac{a_0}{Fleet} + \frac{a_1}{Fleet} + \frac{a_2}{Fleet} + \dots + \frac{a'_{(n-1)}}{Fleet}$$

Ισοδύναμα,

$$1 = \frac{a_0}{Fleet} + \frac{a_1}{Fleet} + \frac{a_2}{Fleet} + \dots + \frac{a'_{(n-1)}}{Fleet}$$

Οι όροι της παραπάνω εξίσωσης, εκφράζουν τον αριθμό των πλοίων που είχαν **0,1,2, ..., (n-1)+** ατυχήματα, ως ποσοστό του συνολικού αρχικού στόλου.

Έτσι από τον κλασσικό ορισμό της πιθανότητας, η όροι αυτοί εκφράζουν στην πραγματικότητα, την πιθανότητα που έχει ένα πλοίο κατά τη διάρκεια

της ζωής του να έχει ακριβώς **0, 1, 2, ..., (n-2)** ατυχήματα ή να έχει **(n-1)** και άνω ατυχήματα.

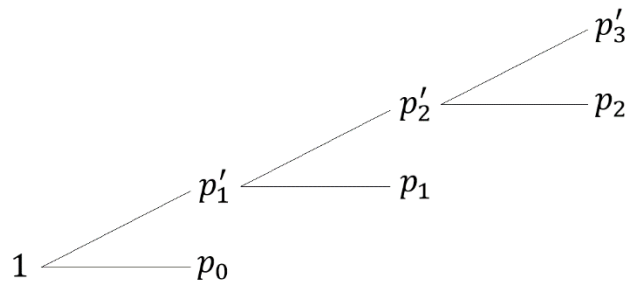
Αντικαθιστώντας και κρατώντας τους ίδιους συμβολισμούς, προκύπτει:

$$1 = p_0 + p_1 + p_2 + \dots + p'_{(n-1)}$$

Γυρίζοντας πίσω στο παράδειγμα μας, και επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία βήμα βήμα, για την εξίσωση:

$$1 = p_0 + p_1 + p_2 + p'_3$$

Προκύπτει η ακόλουθη σχηματική αναπαράσταση:



Εικόνα 34: Σχηματική αναπαράσταση εφαρμογής της μεθοδολογίας.

Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί η εξάρτηση των μεταβλητών στους κόμβους του παραπάνω σχήματος.

Για τον πρώτο κόμβο, ισχύει ότι:

$$1 = p_0 + p'_1$$

Χωρίζοντας τις μεταβλητές μας, καταφέρνουμε να εκφράσουμε τον όρο p_0 συναρτήσει του p'_1 , όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση

$$p_0 = 1 - p'_1$$

Ομοίως, για τον δεύτερο κόμβο, ισχύει:

$$p'_1 = p_1 + p'_2$$

Χωρίζοντας πάλι τις μεταβλητές μας, προκύπτει:

$$p_1 = p'_1 - p'_2$$

Εκφράζοντας έτσι το p_1 συναρτήσει των p'_1 και p'_2 .

Αν επιθυμούσαμε όμως να έχουμε μια εικόνα για το πώς κατανέμεται το ποσοστό ή καλύτερα η πιθανότητα p'_1 στα p_1 και p'_2 , αρκεί να διαιρέσουμε την παραπάνω εξίσωση με το p'_1 ώστε να αναγάγουμε την κατανομή της πιθανότητας σε ποσοστό 100% του p'_1 .

Έτσι, έχουμε

$$\frac{p_1}{p'_1} = \frac{p'_1}{p'_1} - \frac{p'_2}{p'_1}$$

Να ισοδυναμεί, με

$$P_1 = 1 - P'_2$$

Όπου,

$$P_1 = \frac{p_1}{p'_1} \quad \text{και} \quad P'_2 = \frac{p'_2}{p'_1}$$

Ομοίως ισχύουν και για τον τρίτο κόμβο.

$$p_2 = p'_2 - p'_3$$

Και

$$P_2 = 1 - P'_3$$

Με

$$P_2 = \frac{p_2}{p'_2} \quad \text{και} \quad P'_3 = \frac{p'_3}{p_2}$$

Ανακεφαλαιώνοντας, μιλώντας για τον ίδιο κόμβο, τα p_i και p'_{i+1} εξαρτώνται από τα α_i και α'_{i+1} αντίστοιχα, σύμφωνα με τον ορισμό που τους δώσαμε στην αρχή του κεφαλαίου, τα οποία με τη σειρά τους έχουν κατανομή στον άξονα ζωής του πλοίου.

Λογικό αφού ένα πλοίο του στόλου, μπορεί να έχει υποστεί το i του ατύχημα σε διαφορετική ηλικία από ένα άλλο πλοίο του στόλου.

Έτσι, καθώς κινούμαστε πάνω στον άξονα ζωής του πλοίου, τα α_i και α'_{i+1} μεταβάλλονται, για την ακρίβεια αυξάνονται, και με τη σειρά τους μεταβάλλουν τα p_i και p'_{i+1} . Οι μεταβλητές μας, ή καλύτερα οι πιθανότητες μας σταθεροποιούνται με το πέρας της ζωής του πλοίου.

Η εισαγωγή των P_i και P'_{i+1} , όσο και αν μοιάζει αυθαίρετη δεν είναι. Ως έννοιες αυτές, εκφράζουν την πιθανότητα κάθε φορά να πάθω ($i + 1$) ατύχημα ή να μείνω στο i ατύχημα που έχω.

6.2 Εφαρμογή της μεθόδου

Θα συνεχίσουμε, κάνοντας εφαρμογή της μεθόδου που αναπτύξαμε στα δεδομένα της βάσης μας, πρώτα για την περίοδο ναυπήγησης 1945-2015 και ύστερα για την περίοδο 1985-2015.

Σημειώνουμε πως και στις δύο περιόδους, μας απασχολεί μόνο η ύπαρξη του ατυχήματος και όχι το είδος, η σοβαρότητα ή η μόλυνση που ενδεχομένως να προκάλεσε. Φυσικά και μια τέτοια διάκριση είναι εφικτή, αφού το μόνο που αλλάζει είναι ο στόλος των πλοίων που μελετάμε, αλλά στην παρούσα υπό ενότητα ο στόχος μας είναι να μελετήσουμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου.

Για χάρην απλότητας, θα μελετήσουμε μόνο τα τρία πρώτα ατυχήματα, δηλαδή τους όρους p_0 , p_1 , p_2 και p'_3 όπως και στο παράδειγμά μας. Ενώ ως εκτιμώμενη διάρκεια ζωής του σκάφους θα θεωρήσουμε τα πρώτα 60 χρόνια ζωής του, χρονικό περιθώριο αρκετά μεγάλο, ώστε όλες οι μεταβλητές μας να έχουν σταθεροποιηθεί στην τελική τους τιμή.

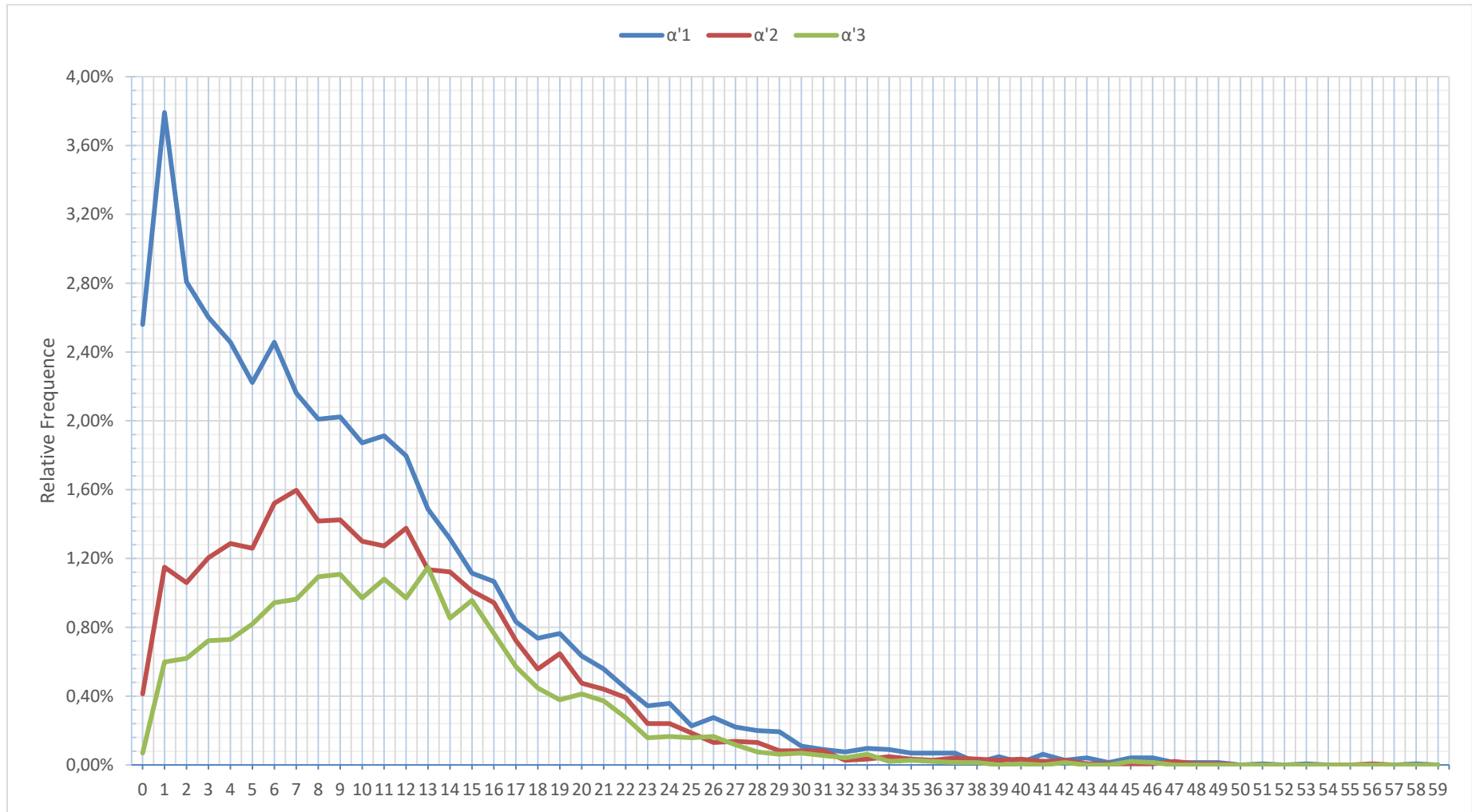
Η κατανομή των α'_i των δεδομένων μας είναι η ακόλουθη:

Age	α_1'	α_2'	α_3'	Age	α_1'	α_2'	α_3'	Age	α_1'	α_2'	α_3'
0	372	60	10	20	92	69	60	40	2	5	1
1	551	167	87	21	81	64	54	41	9	3	0
2	408	154	90	22	65	57	40	42	4	4	2
3	378	175	105	23	50	35	23	43	6	1	0
4	357	187	106	24	52	35	24	44	2	1	0
5	323	183	119	25	33	27	23	45	6	1	3
6	357	221	137	26	40	19	24	46	6	1	2
7	314	232	140	27	32	20	17	47	2	3	0
8	292	206	159	28	29	19	11	48	2	1	0
9	294	207	161	29	28	12	9	49	2	1	0
10	272	189	141	30	16	12	10	50	0	0	0
11	278	185	157	31	13	12	8	51	1	0	0
12	261	200	141	32	11	4	6	52	0	0	0
13	216	165	167	33	14	5	9	53	1	0	0
14	191	163	124	34	13	7	3	54	0	0	0
15	162	147	139	35	10	5	4	55	0	0	0
16	155	137	111	36	10	4	3	56	0	1	0
17	121	105	83	37	10	6	2	57	0	0	0
18	107	81	65	38	2	5	2	58	1	0	0
19	111	94	55	39	7	4	0	59	0	0	0
Total									6172	3701	2637

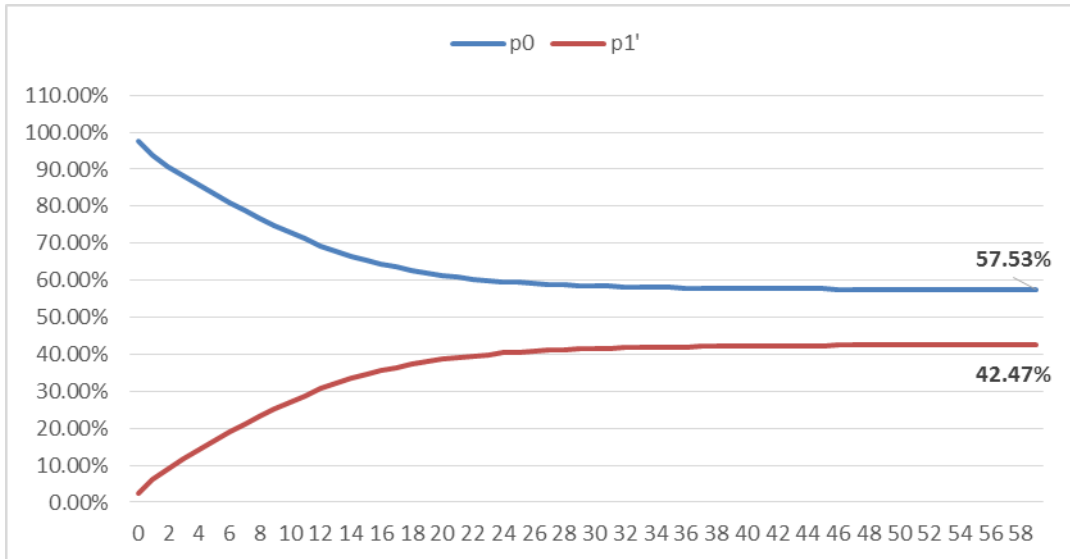
Πίνακας 36:Κατανομή των α'_i ανά έτος ηλικίας πλοίου, 1945-2015.

Τότε η σχετική συχνότητα των α'_i , δηλαδή ο αριθμός α'_i προς τον αριθμό των πλοίων του στόλου μας, ανά έτος ηλικίας πλοίου, θα δίνεται από το γράφημα της εικόνας 35.

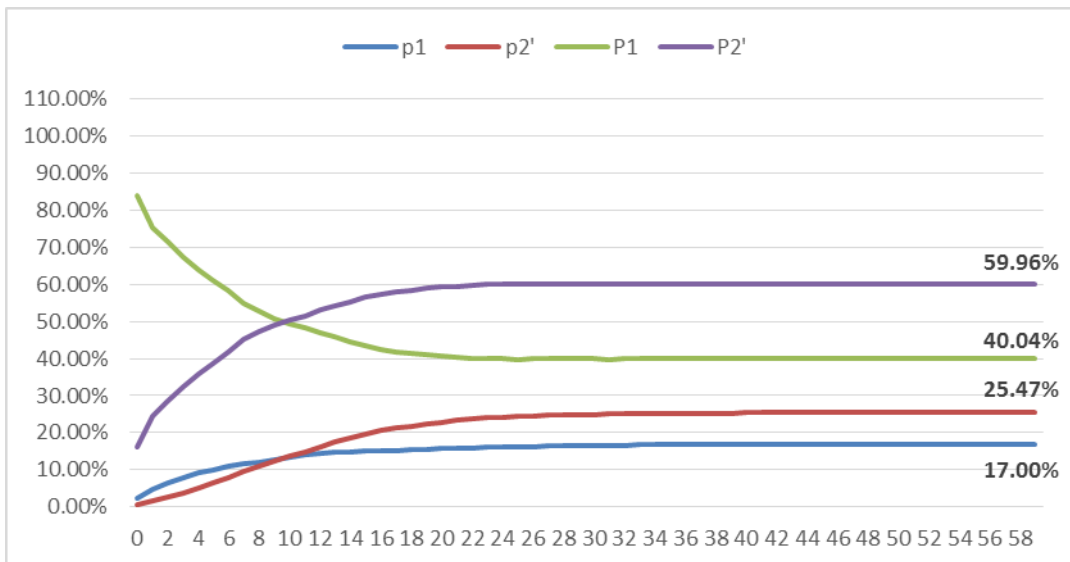
Στις εικόνες 36,37,38 παρουσιάζονται οι μεταβολές των p_i , p'_{i+1} , P_i και P'_{i+1} κατά τη διάρκεια ζωής του πλοίου. Στο σημείο αυτό, οφείλουμε να υπενθυμίσουμε πως οι παραπάνω μεταβλητές δεν είναι άλλες από τις αθροιστικές συχνότητες των α'_i που αναφέραμε νωρίτερα.



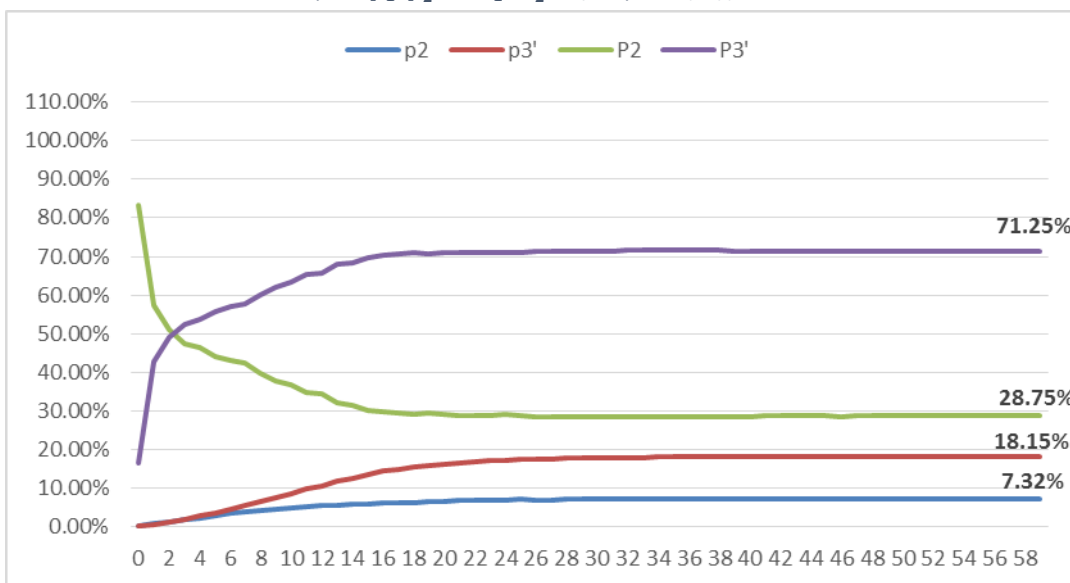
Εικόνα 35: Σχετική συχνότητα των α'_i ανά έτος ηλικίας πλοίου, 1945-2015.



Εικόνα 36: Μεταβολή των p_0 και p_1' στη διάρκεια ζωής του πλοίου, 1945-2015.

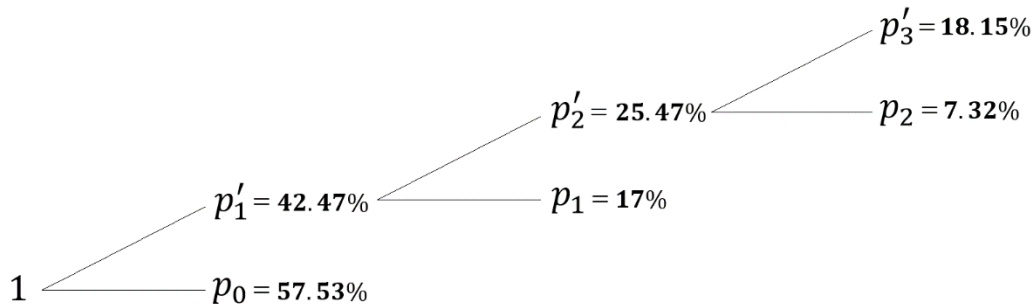


Εικόνα 37: Μεταβολή των p_1 , p_2' και P_1 , P_2' στη διάρκεια ζωής του πλοίου, 1945-2015.

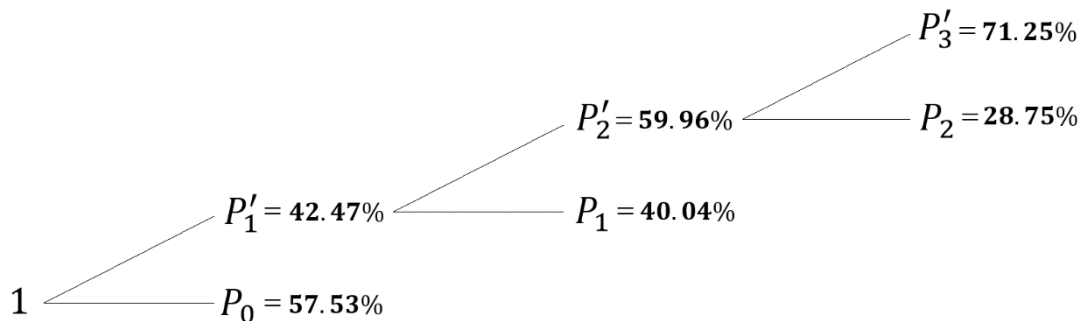


Εικόνα 38: Μεταβολή των p_2 , p_3' και P_2 , P_3' στη διάρκεια ζωής του πλοίου, 1945-2015.

Μεταφέροντας τα παραπάνω αποτελέσματα σε μία σχηματική αναπαράσταση, όμοια με εκείνη του παραδείγματος που χρησιμοποιήσαμε στην αρχή του κεφαλαίου, θεωρώντας πως το πλοίο μας έχει ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής του, προκύπτει:



Εικόνα 39: Σχηματική αναπαράσταση των p_i, p'_{i+1} , 1945-2015.



Εικόνα 40: Σχηματική αναπαράσταση των P_i, P'_{i+1} , 1945-2015.

Στην σχηματική αναπαράσταση της εικόνας 38, βλέπουμε την κατανομή της ολικής πιθανότητας στον αντίστοιχο αριθμό ατυχήματος. Δεδομένου ότι το πλοίο μας έχει ολοκληρώσει τη διάρκεια ζωής του, παρατηρούμε πως η πιθανότητα να μην έχουμε ατύχημα ($p_0 = 57.53\%$), είναι μεγαλύτερη από το να έχουμε ατύχημα ($p'_1 = 42.47\%$). Ακόμα, η πιθανότητα το πλοίο μας να παρουσιάσει ακριβώς 3 ατυχήματα κατά τη διάρκεια της ζωής του, είναι μόλις 7.32% ($p_3 = 7.32\%$). Δηλαδή όσο μεγαλώνει ο αριθμός των ατυχημάτων που θα μπορούσε να βιώσει ένα πλοίο στον κύκλο ζωής του, τόσο πιο απίθανο είναι αυτό το ενδεχόμενο να συμβεί.

Εν κατακλείδι θα μπορούσαμε να πούμε ότι, όσο περισσότερα ατυχήματα έχει ένα πλοίο τόσο πιο “άτυχο” ήταν.

Από την άλλη μεριά, στη σχηματική αναπαράσταση της εικόνας 39, αποτυπώνεται, ανά κόμβο, η κατανομή της πιθανότητας ώστε το πλοίο μας να πάθει ακόμα ένα ατύχημα ή όχι. Παρατηρούμε πως αν το πλοίο μας δεν έχει εμφανίσει ατύχημα, έχουμε μεγαλύτερη πιθανότητα να μην εμφανίσει ποτέ ($P_0 = 57.53\%$), από το να εμφανίσει ($P'_1 = 42.47\%$). Αν όμως έχει συμβεί το 1^ο ατύχημα, η πιθανότητα να εμφανίσει τουλάχιστον ένα ακόμη, αυξάνεται ($P'_2 = 59.96\%$), ενώ μειώνεται η πιθανότητα να μείνει μόνο στο 1^ο ατύχημα ($P_1 = 40.04\%$). Συνεχίζοντας, δεδομένου ότι έχει συμβεί και το 2^ο ατύχημα, η πιθανότητα να εμφανίσει ακόμα ένα, συνεχίζει να αυξάνεται ($P'_3 = 71.25\%$). Δηλαδή όσο αυξάνει ο αριθμός των ατυχημάτων που εμφανίζει ένα πλοίο, τόσο αυξάνεται η πιθανότητα να εμφανίσει ακόμα ένα ατύχημα.

Έτσι, θα μπορούσαμε να σχολιάσουμε πως, όσα περισσότερα ατυχήματα ένα πλοίο έχει υποστεί, τόσο περισσότερη “φροντίδα” χρειάζεται.

Όσο αντιφατικές και να μας φαίνονται οι έννοιες που προκύπτουν από την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου, στην πραγματικότητα είναι οι δύο όψεις του ίδιου νομίσματος καθώς το γινόμενο των όρων P'_1, P'_2, P_2 είναι ίσο με το p_2 .

Ισχύει δηλαδή,

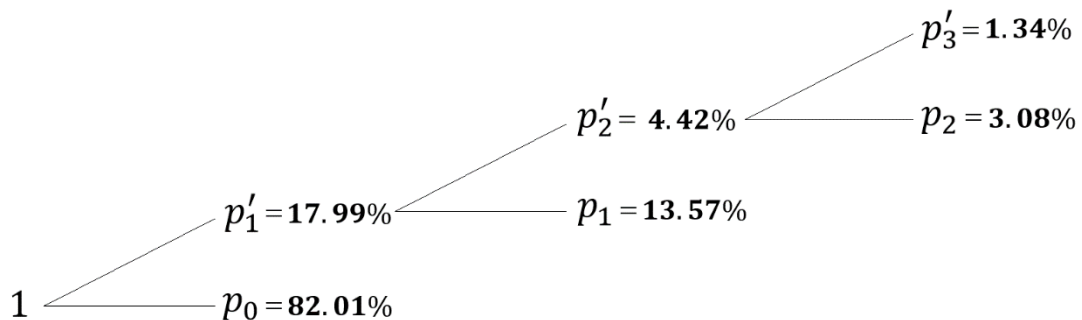
$$P'_1 \cdot P'_2 \cdot P_2 = p_2$$

Οφείλουμε επίσης να σημειώσουμε πως το φαινόμενο αυτό στην πραγματικότητα μας δίνει μια τάξη μεγέθους της επιρροής του ανθρώπινου παράγοντα στα ναυτικά ατυχήματα. Με τον όρο “ανθρώπινο παράγοντα”, αναφερόμαστε τόσο στον πλοιοκτήτη όσο και στο πλήρωμα του σκάφους. Αυτό σημαίνει πως η εμφάνιση ατυχήματος εξαρτάται τόσο από την αρχική κατασκευή του πλοίου, όσο και από τη σωστή συντήρηση μηχανών και εξαρτημάτων στο πέρασμα του χρόνου.

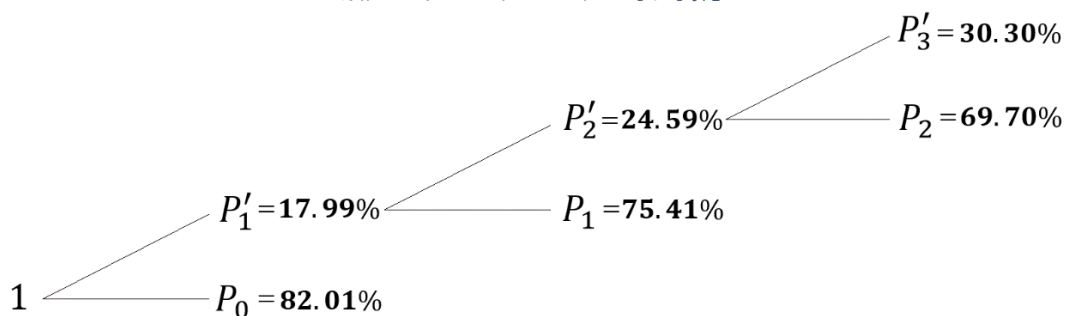
Εξηγεί επίσης, την έμφυτη τάση που έχουμε ως καταναλωτές να προτιμάμε ένα καινούριο προϊόν από ένα μεταχειρισμένο. Αν όμως συμπεριλάβουμε στην ανάλυση μας οικονομικούς όρους, τότε είναι πιθανόν να υπάρχει σημείο τέτοιο που το κόστος αγοράς ενός καινούριου προϊόντος να είναι μεγαλύτερο από το κόστος αγοράς και συντήρησης ενός μεταχειρισμένου.

Τέλος ίσως κάποιος, συνυπολογίζοντας τα παραπάνω, θα μπορούσε να εξηγήσει την άνοδο της ελληνικής ναυτιλίας, η οποία κατά κόρον βασίζεται σε μεταχειρισμένα σκάφη.

Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία για την περίοδο ναυπήγησης 1985-2015, το παραπάνω φαινόμενο δεν εμφανίζεται. Αυτό είτε γιατί δεν έχει παρέλθει ο απαραίτητος χρόνος για να συμβούν τα ατυχήματα, είτε οφείλεται στην ύπαρξη αυτοματισμών και τακτικών ενεργειών συντήρησης, που προφυλάσσουν το πλοίο. Παραθέτουμε στα ακόλουθα σχήματα τις σχηματικές αναπαραστάσεις των πιθανοτήτων.



Εικόνα 41: Σχηματική αναπαράσταση των p_i, p'_{i+1} , 1985-2015.



Εικόνα 42: Σχηματική αναπαράσταση των P_i, P'_{i+1} , 1985-2015.

Τέλος, παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα, για την περίοδο 1985-2015, η κατανομή της ολικής πιθανότητας στον αριθμό του ατυχήματος. Όπως σχολιάστηκε παραπάνω, παρατηρείται πως για τα “σύγχρονα” πλοία η πιθανότητα ύπαρξης τουλάχιστον ενός ατυχήματος είναι μόλις 18%. Αναλυτικά:

Πίνακας 37: Κατανομή της ολικής πιθανότητας για την περίοδο 1985-2015.

p_i	Probability
0	0.820050648
1	0.135706837
2	0.030835692
3	0.008044094
4	0.003128259
5	0.000893788
6	0.000446894
7	0.000297929
8	0.000148965
9	0.000297929
10	0.000148965
Total	1

Η παραπάνω ανάλυση, υπολογίζει την πιθανότητα εμπλοκής ενός πλοίου σε έναν συγκεκριμένο αριθμό ατυχήματος, κατά τη διάρκεια ζωής ενός πλοίου, χωρίς όμως να γίνεται διάκριση ως προς το είδος του ατυχήματος.

Για τον λόγο αυτό στους ακόλουθους πίνακες, επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία έχοντας ως κύρια διάκριση το είδος του ατυχήματος, παρουσιάζοντας με τον τρόπο αυτό την κατανομή της σταθεροποιημένης πιθανότητας στον συγκεκριμένο αριθμό ατυχήματος, με το πέρας της ζωής του πλοίου.

Σημειώνεται πως ο αριθμός του ατυχήματος αφορά μόνο το συγκεκριμένο είδος ατυχήματος και όχι των συνολικών ατυχημάτων. Δηλαδή αν ένα πλοίο, κατά τη διάρκεια της ζωής του είχε εμπλακεί σε 5 ατυχήματα, δύο εκ των οποίων ανήκουν στην κατηγορία «*Hull / Mach. Damage*», τότε η πιθανότητα στον παρακάτω πίνακα θα αναφέρεται ως p_1 και p_2 αντίστοιχα, αμελώντας την ύπαρξη των ατυχημάτων διαφορετικού είδους.

Επιπλέον, τονίζεται πως οι κατηγορίες «*Foundered*» και «*Missing*» δεν περιλαμβάνονται στους πίνακες καθώς μπορούν να συμβούν μόνο μια φορά σε ένα πλοίο καθώς επίσης και η κατηγορία «*War Loss / Hostilities*» που αφορούν συγκεκριμένη περίοδο.

Πίνακας 38: Κατανομή της πιθανότητας του αριθμού του ατυχήματος συναρτήσει του είδους 1945-2015

p_i	Hull / Mach. Damage	Collision	Wrecked/ Stranded	Contact	Fire/ Explosion
0	0.482348	0.582899	0.652614	0.754059	0.793535
1	0.221064	0.315209	0.239535	0.160435	0.176672
2	0.089230	0.073738	0.066438	0.045583	0.023685
3	0.049754	0.017876	0.023238	0.021004	0.004469
4	0.041859	0.006257	0.010576	0.011023	0.001043
5	0.029346	0.002383	0.00432	0.003724	0.000447
6	0.020110	0.001043	0.002383	0.001788	0.000149
7	0.014599	-	0.000745	0.000894	-
8	0.012662	-	-	0.000298	-
9	0.009683	0.000298	0.000149	0.000745	-
10+	0.029346	0.000298	-	0.000447	-

Πίνακας 39: Κατανομή της πιθανότητας του αριθμού του ατυχήματος συναρτήσει του είδους, 1985-2015

p_i	Hull / Mach. Damage	Collision	Wrecked/ Stranded	Contact	Fire/ Explosion
0	0.946373	0.921347	0.954566	0.981826	0.98421
1	0.044094	0.072248	0.041561	0.017876	0.015194
2	0.006405	0.004916	0.003426	0.000298	0.000447
3	0.001788	0.000894	0.000149	-	0.000149
4	0.000447	0.000447	0.000149	-	-
5	0.000298	-	-	-	-
6	0.000298	0.000149	0.000149	-	-
7	0.000149	-	-	-	-
8	0.000149	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-

Οι « - » στους πίνακες δείχνουν την απουσία πλοίων με ακριβώς « i » ατυχήματα από τα δεδομένα της βάσης.

Έτσι, κατά την περίοδο κήσεως 1985-2015, δεν υπάρχει πλοίο που να έχει υποστεί πάνω από δύο ατυχήματα του είδους «Contact» ή αντίστοιχα την ίδια περίοδο, δεν υπάρχει πλοίο που να έχει υποστεί ακριβώς 5 ατυχήματα του είδους «Collision».

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο περιόδων, εύκολα γίνεται αντιληπτό πως υπάρχει μεγάλη βελτίωση στην αποφυγή ατυχημάτων για κάθε κατηγορία χωριστά. Πράγμα το οποίο σημαίνει πως η βελτίωση των τεχνικών και τεχνολογιών ναυπήγησης καθώς επίσης οι βελτιώσεις των βοηθητικών συστημάτων και συστημάτων πλοήγησης, επιδρούν στην αποφυγή των ατυχημάτων με διαφορετικό τρόπο.

Συμπεράσματα.

Όπως είναι γνωστό, η αύξηση του μεγέθους των πλοίων είναι ένα μεταγενέστερο φαινόμενο που βασίζεται στην ανάπτυξη της τεχνολογίας και στην άνθιση της οικονομίας. Όσο όμως μεγαλώνει το μέγεθος του μεταφερόμενου φορτίου, τόσο αυξάνονται οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι που ελλοχεύουν κατά τη μεταφορά του.

Στο ευρύ χρονικό φάσμα που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία, δόθηκε η δυνατότητα εντοπισμού αλλά και σύγκρισης της αποτελεσματικότητας των κανονισμών στον περιορισμό της περιβαλλοντικής ρύπανσης και πώς αυτοί επηρέασαν, αρχικά τον ρυθμό αύξησης του παγκόσμιου στόλου και καί' επέκταση των αριθμών των ατυχημάτων.

Όπως απεικονίζεται στο διάγραμμα της εικόνας 29, το μεγαλύτερο ποσοστό μείωσης, ύστερα από τη συγκρότηση του IMO, παρατηρείται στην κατηγορία ατυχημάτων «Hull & Machinery Damage», γεγονός που οφείλεται αφενός στην ανάπτυξη της τεχνολογίας και αφετέρου στη “νέα” μεθοδολογία σχεδίασης.

Η μέση διάρκεια ζωής των δεξαμενόπλοιων εκτιμάται κοντά στα 23 χρόνια, ενώ παρουσιάζει σοβαρές διακυμάνσεις ανάλογα με το μέγεθος ή το είδος φορτίου, όπως φαίνεται στον πίνακα 15.

Η μέση ηλικία του στόλου για το έτος 2015 είναι περίπου 18 έτη, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 18, ενώ στην εικόνα 19, φαίνεται η διακύμανση της μέσης ηλικίας σε σχέση με την κατηγορία μεγέθους. Προκύπτει όπως ήταν αναμενόμενο πως όσο αυξάνει το μέγεθος των δεξαμενοπλοίων τόσο μειώνεται η μέση ηλικία τους.

Όπως φαίνεται στις εικόνες 27, 32 και 33, η κατηγορία ατυχήματος με τις περισσότερες διαρροές φορτίου, πρώτου σοβαρού ατυχήματος καθώς και πρώτου σοβαρού ατυχήματος αντίστοιχα, είναι η «*Hull & Mach. Damage*» ενώ ακολουθεί η «*Collision*».

Τέλος από τα σχήματα 39,40 και 41,42 παρατηρήθηκε μεταβολή στον τρόπο με τον οποίο κατανέμεται η πιθανότητα κατά το ενδεχόμενο ύπαρξης ατυχήματος, σχετίζοντας την με το έτος κατασκευής και την ηλικία του σκάφους. Για τα πλοία με ημερομηνία κατασκευής πριν το 1985, η ύπαρξη του πρώτου ατυχήματος επιβάλλει την ύπαρξη δεύτερου και ούτω καθεξής. Πράγμα το οποίο δεν ανιχνεύεται στα μετα-Marpol σκάφη.

Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Αν και τα αποτελέσματα που έδωσε η ανάλυση των δεδομένων συγκεκριμένης βάσης είναι ικανοποιητικά, μια παρόμοια ανάλυση σε στοιχεία κάποιου άλλου φορέα θα ήταν επιθυμητή.

Επίσης, στην παρούσα εργασία το ατύχημα εξετάζεται ως το κύριο γεγονός, καθώς δεν υπάρχουν στοιχεία για τα αίτια που το προκάλεσαν ή το τι επακολούθησε.

Άλλοι άξονες που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για μια μελλοντική μελέτη, είναι ο καιρός τη δεδομένη στιγμή, η κατάσταση λειτουργίας του πλοίου, η ποσότητα διαρροής φορτίου και το κόστος του ατυχήματος μεταφρασμένο σε χρηματικές μονάδες.

Λόγω του ότι η ύπαρξη ατυχήματος αποδίδεται κατά ένα μεγάλο ποσοστό στον ανθρώπινο παράγοντα, δεδομένα όπως η εθνικότητα και η σύνθεση του πληρώματος καθώς και η εμπειρία τους, θεωρούνται σημαντικά θέματα για μελέτη.

Τέλος, μια πιθανοθεωρητική μελέτη, που να εξετάζει τη σύνδεση του είδους του πρώτου ατυχήματος με το είδος του επόμενου και η αποτύπωση της μεταβολής τους κατά τη διάρκεια ζωής του πλοίου θα αποτελούσε το απόλυτο εργαλείο τόσο στον τομέα της ναυτιλίας όσο και στον τομέα της ασφάλειας.

Βιβλιογραφία

- A Papanikolaou, E. E. (2013). *Review of Tanker Safety after the Introduction of OPA 90*. SPOUDAI Journal of Economics and Business.
- Aksu, P. E. (2006). *Casualty analysis of Aframax tankers*. DOI: 10.1243/14750902JEME74.
- Aksu, P. E. (n.d.). *CASUALTY ANALYSIS OF TANKERS*.
- Bagdonavicius, V. N. (2011). "Chi-squared goodness-of-fit test for right censored data". . The International Journal of Applied Mathematics and Statistics.
- Bourikas, E. (2005). *Casualty Analysis of VLCC and ULCC tankers*.
- E. Eliopoulou P. Diamantis, A. P. (n.d.). *Casualties of Medium Size Tankers*.
- EnviroEmerg Consulting Services. (2008). *Major Marine Vessel Casualty Risk and Response Preparedness in British Columbia*. Canada.
- Han, J. &. (2001). *Data Mining Concepts And Techniques*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publicers.
- J Montewka, P. K. (2010). *A Model for Risk Analysis of Oil Tankers*. THE ARCHIVES OF TRANSPORT .
- M Amrozowicz, A. B. (1997). *A Probabilistic Analysis Of Tanker Groundings*.
- Papanikolaou, E. E. (2007). *Casualty analysis of large tankers*. DOI 10.1007/s00773-007-0255-8.
- RA., F. (n.d.). *The use of multiple measurements in taxonomic problems*. *Ann Eugen* 1936,.
- Schulte, J. (2000). *Casualty Investigation Report CA - 63*.
- Witten, I. H. (2000). *Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques with Java*. San Francisco: CA: Morgan Kaufmann Publishers.
- Δασενάκης, Ε. (2015). *Χημική Ωκεανογραφία*.
- Διαμαντής, Π. (2010). *Ανάλυση ναυτικών ατυχημάτων Δεξαμενοπλοίων μεσαίου μεγέθους*. Αθήνα: ΕΜΠ, ΝΜΜ, Τομέας Μελέτης πλοίου και Θαλάσσιων Μεταφορών.
- Ηλιοπούλου, Ε. (2006). *Μεθοδολογία ανάπτυξης νέων κανονισμών ευστάθειας πλοίων κατόπιν βλάβης και επιδράσεις στη μελέτη και σχεδίαση*. Αθήνα: ΕΜΠ, ΝΜΜ, Τομέας Μελέτης Πλοίου και Θαλάσσιων Μεταφορών.
- Μπίθα, Κ. (2014). *Στατιστική ανάλυση ναυτικών ατυχημάτων κατά την περίοδο 1990-2012*. Αθήνα: ΕΜΠ, ΝΜΜ, Τομέας Μελέτης πλοίου και Θαλάσσιων Μεταφορών.
- Νομικός, Α. (2012). *Ανάλυση ναυτικών ατυχημάτων σε Δεξαμενόπλοια*. Αθήνα: ΕΜΠ, ΝΜΜ, Τομέας Μελέτης πλοίου και Θαλάσσιων Μεταφορών.

- Παπαδάτος, Α. (2013). *Προσομοίωση τύχης πετρελαιοκηλίδας μετά από ναυτικό ατύχημα στο Αιγαίο*. Αθήνα: ΕΜΠ, ΝΜΜ, Τομέας Μελέτης πλοίου και Θαλάσσιων Μεταφορών.
- Περώντσης, Ι. (2016). *Διεθνής Σύμβαση MARPOL και Αξιοματικός Μηχανής Απορρέουσες υποχρεώσεις*. Νέα Μηχανιώνα.
- Πιπέρης, Ν. (2012). *Ανάλυση ναυτικών ατυχημάτων δεξαμενόπλοιων έως 5,000 DWT*. Αθήνα: ΕΜΠ, ΝΜΜ, Τομέας Μελέτης πλοίου και Θαλάσσιων Μεταφορών.
- Ρούσσας, Γ. (2011). *Εισαγωγή στην Πιθανοθεωρία*. ΖΗΤΗ.
- Σταυρίδης, Γ. (2007). *Πετρελαϊκή ρύπανση από ατυχήματα Δ/Ξ στον Ελληνικό θαλάσσιο χώρο*. Αθήνα: ΕΜΠ, ΝΜΜ, Εργαστήριο Θαλάσσιων Μεταφορών.
- Σωτήραλης, Π. (2011). *Πιθανοθεωρητική μελέτη διαρροών πετρελαίου από Δ/Ξ : Ποσότητες και Κόστος*. Αθήνα: ΕΜΠ, ΝΜΜ, Τομέας Μελέτης πλοίου και Θαλάσσιων Μεταφορών.
- Τσόλα, Ε. (2011). *Ανάλυση ναυτικών ατυχημάτων δεξαμενόπλοιων μεγέθους 5,000-20,000 DWT*. Αθήνα: ΕΜΠ, ΝΜΜ, Τομέας Μελέτης πλοίου και Θαλάσσιων Μεταφορών.
- Φαίδων, Π. (2015). *Μοντελοποίηση ατυχημάτων σύγκρουσης στις θαλάσσιες μεταφορές με χρήση της μεθόδου Bayesian Networks*. Αθήνα: ΕΜΠ, ΝΜΜ, Τομέας Μελέτης πλοίου και Θαλάσσιων Μεταφορών.
- Φαρμάκης, Ε. (2014). *Analysis of Non Accidental Stuctual Failures and Machinery Failures on Large Tankers*. Αθήνα: ΕΜΠ, ΝΜΜ, Τομέας Μελέτης πλοίου και Θαλάσσιων Μεταφορών.