

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

<<Μελέτη και Ανάλυση Ναυτικών Ατυχημάτων  
Πλοίων τύπου Γενικού Φορτίου>>

Διπλωματική Εργασία

ΧΡΥΣΑΥΓΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2011

ΑΘΗΝΑ

ΧΡΥΣΑΥΓΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

<<Μελέτη και Ανάλυση Ναυτικών Ατυχημάτων  
Πλοίων τύπου Γενικού Φορτίου>>

11 ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 2011

Διπλωματική Εργασία

Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών

Συγγραφέας: Χρυσανγής Χρήστος

Επιβλέπων: Βεντικός Νικόλαος.Π.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω το κ.Βεντίκο για τις υποδείξεις και τον χρόνο που αφιέρωσε ώστε η διπλωματική εργασία να είναι όσο το δυνατόν πιο πλήρης.Κυρίως όμως τον ευχαριστώ για την κατανόηση και τη συμπαράστασή του στις δύσκολες στιγμές των τελευταίων μηνών.

Ακόμη,ευχαριστώ τους γονείς μου,Φίλιππο και Μαίρη,την αδερφή μου Ιωάννα και το γαμπρό μου Στάθη για την απόλυτη στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Στον πατέρα μου Φίλιππο.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία διαπραγματεύεται ναυτικά ατυχήματα πλοίων τύπου Γ/Φ που έλαβαν χώρα την περίοδο 1995-2010. Στόχος της εργασίας είναι η διερεύνηση της μεταβολής των ατυχημάτων τόσο αριθμητικά όσο και σε σχέση με τη σοβαρότητα των συνεπειών τους, αλλά και η αποσαφήνιση πιθανών παραμέτρων που πιθανόν να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο γεγονός του ναυτικού ατυχήματος.

Από τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε καταλήξαμε στο συμπέρασμα πως ο αριθμός των ατυχημάτων του συγκεκριμένου τύπου πλοίου σημειώνει μεγάλη αύξηση την τελευταία 15ετία γεγονός που πρέπει να συγκεντρώσει την προσοχή των ιθυνόντων. Η ανάλυση των ατυχημάτων έγινε για 3 κατηγορίες μεγέθους και 6 κατηγορίες ατυχημάτων, και προέκυψε πως τα περισσότερα ατυχήματα οφείλονται σε μηχανική βλάβη, Ωστόσο αυτά είναι τα ατυχήματα που προκαλούν τις μικρότερες συνέπειες. Επιπλέον, διευρενήθηκε η σημασία της ηλικίας του πλοίου τη στιγμή του ατυχήματος και διαπιστώθηκε πως αυτή εμφανίζει αυξητικές τάσεις μέσα στην υπό μελέτη περίοδο. Επίσης, τα δεδομένα υποβλήθηκαν σε κατάλληλα στατιστικά tests από τα οποία διαπιστώθηκε πως το μέγεθος του πλοίου παίζει ρόλο σε ένα ναυτικό ατύχημα για τα πλοία τύπου Γ/Φ.

Στη συνέχεια επιλέχθηκε ένα μικρό δείγμα του συνολικού πληθυσμού των ατυχημάτων για μεγαλύτερη ευελιξία. Αποφασίστηκε να μελετηθούν 7 παράμετροι των οποίων οι τιμές καταγράφηκαν και με βάση αυτές παράχθηκαν οι αντίστοιχες πιθανοθεωρητικές κατανομές. Από τις κατανομές και με εφαρμογή κατάλληλης μεθόδου δειγματοληψίας καταλήξαμε σε 1000 πιθανά σενάρια ατυχημάτων. Για την ευκολότερη μελέτη αυτών των σεναρίων, αποφασίστηκε η κατάταξή τους σε 3 κλάσεις συνεπειών από τις οποίες το μεγαλύτερο ενδιαφέρον συγκεντρώνει φυσικά αυτή με τις υψηλότερες συνέπειες.

Προέκυψε λοιπόν, πως κανένα ατύχημα δεν συνέβη ενώ οι καιρικές συνθήκες ήταν καλές. Στη μεγάλη πλειοψηφία των σεναρίων υπήρχαν καιρικές συνθήκες τυφώνα, ενώ ο μ.ο της ηλικίας των πλοίων υπολογίστηκε στα 12 έτη. Η παράμετρος της ισχύος εμφανίζεται ως αυτή με τη μικρότερη συμβολή στην κατάταξη των σεναρίων.

Ελπίζουμε η διπλωματική εργασία και τα συμπεράσματά της να αποτελέσουν βάση μελλοντικών ερευνών με σκοπό την ελαχιστοποίηση του αριθμού των ναυτικών ατυχημάτων πλοίων τύπου Γ/Φ και των ανεπιθύμητων συνεπειών αυτών.

## Abstract

This thesis deals with marine accidents concerning General Cargo ships, which occurred during the period 1995-2010. The purpose of this thesis is to investigate the fluctuation of accidents both numerically and in relation with the severity of their consequences. Also an effort is put on clarifying the potential parameters likely to play a significant role in the event of a marine accident.

The study was concluded with the fact that the number of accidents for this type of ship has presented a great increase in the last 15 years which should attract the attention of the organisations responsible for marine safety. The accident analysis was carried out for three different size categories and six different type of casualties. The results showed that accidents of machinery damage were the majority of the total although these accidents seem to have the least consequences among the six types. Furthermore, the importance of the ship's age during the accident was investigated and it became clear that this parameter has been increasing since 1995. In addition, statistical tests were carried out for the data gathered and the results showed that ship's size is also an important parameter in marine accidents of General Cargo ships.

After that, we selected a small sample of the population of the marine accidents to gain some flexibility in our calculations. It was decided to study seven parameters, the data of which was recorded. On these data the corresponding probability density curves were produced. By applying an appropriate method of sampling 1000 accident scenarios were finally produced. In order to study these scenarios we decided to classify them in three classes of consequences.

The class with the higher consequences became our focus. It came out that none accidents occurred when the weather was good. The majority of the accidents occurred when a hurricane was taking place and the average age of the ships involved was 12 years. The power of the ships's engine seems to have the smallest contribution in the classification process.

We hope this thesis and its conclusions to be the basis of future research in order to minimize the number of the General Cargo ships's accidents and their consequences.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....</b>	<b>1</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>5</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ .....</b>	<b>9</b>
<b>Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> :ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>10</b>
<b>Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> :ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....</b>	<b>12</b>
2.1 Εισαγωγή.....	12
2.2 Η Βάση Δεδομένων .....	14
2.3 Αναφορές Ατυχημάτων.....	20
2.4 Στόλοι και Πλοία•Έτη.....	43
<b>Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>:ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....</b>	<b>45</b>
3.1 ‘Σοβαρά ατυχήματα’/Πλοία•Έτη για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010 .....	45
3.1.1 Confidence Intervals(c.i).....	49
3.2 Συχνότητες Ατυχημάτων ανά κατηγορία Ατυχήματος.....	52
3.3 Ολικές Απώλειες Πλοίων/Πλοία•Έτη για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010 .....	57
3.4 Ανθρώπινες απώλειες/Πλοία•Έτη για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010.....	62
3.5 ‘Σοβαρά Ατυχήματα’ ανά Έτος Κατασκευής των Πλοίων .....	68
3.6 Ηλικία των πλοίων που είχαν ‘σοβαρά’ ατυχήματα την περίοδο 1995-2010. ....	69
3.7 Στατιστικά Τέστ .....	70
• 3.7.1 Ανάλυση Διακύμανσης(ANOVA).....	70
• 3.7.2 t-Test .....	74
• 3.7.3 F-Test.....	77
<b>Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>:ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ.....</b>	<b>79</b>
4.1 Το Δείγμα .....	79
4.2 Οι Παράμετροι .....	79
4.2.1 Μέγεθος του πλοίου .....	80
4.2.2 Απόδοση Κατανομής στα Δεδομένα(Fitting Distribution to Data) .....	80
4.2.3 Ηλικία του πλοίου .....	87
4.2.4 Ισχύς του πλοίου(MCR) .....	90
4.2.5 Τύπος Ατυχήματος .....	93

4.2.6 Οι Καιρικές Συνθήκες( <i>Weather Condition</i> ) .....	96
4.2.7 Κατάσταση Φόρτωσης του Πλοίου( <i>Cargo Status</i> ) .....	100
4.2.8 Ανθρώπινες Απώλειες.....	102
4.3 Επιλογή Δειγματοληπτικής Μεθόδου .....	106
4.4 <i>Latin Hypercube Sampling</i> .....	107
4.5 Παρουσίαση Σεναρίων.....	110
<b>Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> :ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ .....</b>	<b>114</b>
5.1 Ο αλγόριθμος του προγράμματος <i>See5</i> .....	114
5.2 Εισαγωγή Δεδομένων στο πρόγραμμα <i>See5</i> .....	117
5.3 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων.....	123
<b>Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup> :ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ</b>	
<b>ΈΡΕΥΝΑ .....</b>	<b>141</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>144</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α:Η βάση δεδομένων της <i>Sea-Web</i> .....</b>	<b>147</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β:Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα της Στατιστικής</b>	
<b>Ανάλυσης .....</b>	<b>154</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Το πρόγραμμα <i>@Risk</i> .....</b>	<b>166</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ:Το πρόγραμμα παραγωγής σεναρίων.....</b>	<b>170</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: Συγκεντρωτικός Πίνακας Σεναρίων .....</b>	<b>173</b>



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<b>Σχήμα 2.1:</b> Κατηγοριοποίηση των διάφορων τύπων πλοίου με βάση το ‘StatCode5v’.....	<b>14</b>
<b>Σχήμα 2.2:</b> Αριθμός πλοίων τύπου Γ/Φ ανά έτος με χαρακτηρισμούς ‘Class Known’ και ‘ClassUnknown’.....	<b>19</b>
<b>Σχήμα 2.3:</b> Ποσοστιαία κατανομή ατυχημάτων για τους διάφορους τύπους πλοίων τύπου Γ/Φ με GT>499κόρους,για την περίοδο 01/01/1995-31/12-2010.....	<b>21</b>
<b>Σχήμα 2.4:</b> Γραφική αναπαράσταση της ποσοστιαίας κατανομής των ατυχημάτων πλοίων τύπου Γ/Φ με βάση το GT,για την περίοδο 01/01/1995-31/12-2010.....	<b>22</b>
<b>Σχήμα 2.5:</b> Γραφική αναπαράσταση του αριθμού των ατυχημάτων για τον κάθε τύπο ατυχήματος,για την περίοδο 01/01/1995-31/12-2010.....	<b>24</b>
<b>Σχήμα 2.6:</b> Γραφική αναπαράσταση της ποσοστιαίας κατανομής του συνολικού αριθμού των ατυχημάτων στις διάφορες κατηγορίες ατυχημάτων.....	<b>24</b>
<b>Σχήμα 2.7:</b> Διαχωρισμός του παγκόσμιου χάρτη σε γεωγραφικές ζώνες όπως αυτός δίνεται από τη βάση δεδομένων της Sea-Web.....	<b>25</b>
<b>Σχήμα 2.8:</b> Οι πιο συχνές περιοχές ατυχημάτων(πλοία Γ/Φ με GT>499,περίοδος 01/01/1995-31/12-2010).....	<b>26</b>
<b>Σχήμα 2.9:</b> Οι πιο συχνές περιοχές ατυχημάτων τύπου Collision(πλοία Γ/Φ με GT>499,περίοδος 01/01/1995-31/12-2010).....	<b>27</b>
<b>Σχήμα 2.10:</b> Οι πιο συχνές περιοχές ατυχημάτων τύπου Contact(πλοία Γ/Φ με GT>499,περίοδος 01/01/1995-31/12-2010).....	<b>28</b>
<b>Σχήμα 2.11:</b> Οι πιο συχνές περιοχές ατυχημάτων τύπου Fire/Explosion(πλοία Γ/Φ με GT>499,περίοδος 01/01/1995-31/12-2010).....	<b>29</b>
<b>Σχήμα 2.12:</b> Οι πιο συχνές περιοχές ατυχημάτων τύπου Foundering(πλοία Γ/Φ με GT>499,περίοδος 01/01/1995-31/12-2010).....	<b>30</b>
<b>Σχήμα 2.13:</b> Οι πιο συχνές περιοχές ατυχημάτων τύπου Hull/Machinery damage(πλοία Γ/Φ με GT>499,περίοδος 01/01/1995-31/12-2010). .....	<b>31</b>
<b>Σχήμα 2.14:</b> Οι πιο συχνές περιοχές ατυχημάτων τύπου Wrecked/Stranded(πλοία Γ/Φ με GT>499,περίοδος 01/01/1995-31/12-2010). .....	<b>32</b>
<b>Σχήμα 2.15:</b> Ετήσια μεταβολή του αριθμού ατυχημάτων για κάθε τύπο ατυχήματος(πλοία τύπου Γ/Φ με GT>499κόρους και για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010).....	<b>33</b>
<b>Σχήμα 2.16:</b> Μεταβολή του αριθμού των ατυχημάτων για την περίοδο 1997-2008 όπως παρουσιάστηκε στη MSC87/Inf 3. ....	<b>34</b>
<b>Σχήμα 2.17:</b> Ετήσια μεταβολή του αριθμού ατυχημάτων για κάθε τύπο ατυχήματος(πλοία Crude Oil Carriers με DWT>60000tons). .....	<b>34</b>
<b>Σχήμα 2.18:</b> Κατανομή των ατυχημάτων με βάση τον τύπο του ατυχήματος(πλοία τύπου Γ/Φ με 499<GT≤1000 για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010. ....	<b>35</b>
<b>Σχήμα 2.19:</b> Κατανομή των ατυχημάτων με βάση τον τύπο του ατυχήματος(πλοία τύπου Γ/Φ με 1000<GT≤20000 για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010.....	<b>36</b>
<b>Σχήμα 2.20:</b> Κατανομή των ατυχημάτων με βάση τον τύπο του ατυχήματος(πλοία τύπου Γ/Φ με GT>20000 για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010.....	<b>37</b>
<b>Σχήμα 2.21:</b> Ετήσια μεταβολή του αριθμού των ατυχημάτων για κάθε κατηγορία μεγέθους..	<b>38</b>
<b>Σχήμα 2.22:</b> Ετήσιοι αριθμοί αναφορών ατυχημάτων με ανθρώπινες απώλειες και με ολική απώλεια του πλοίου(πλοία τύπου Γ/Φ,GT>499,περίοδος 1995-2010).....	<b>39</b>
<b>Σχήμα 2.23:</b> Ετήσιοι αριθμοί ανθρωπίνων απωλειών και ολικών απωλειών του πλοίου(πλοία τύπου Γ/Φ,GT>499,περίοδος 1995-2010). .....	<b>39</b>
<b>Σχήμα 2.24:</b> Ετήσιος μ.ο ηλικίας πλοίων που είχαν ατύχημα την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010. ....	<b>40</b>

<b>Σχήμα 2.25:</b> Ετήσιος μ.ο ηλικίας πλοίων με $500 \leq GT \leq 1000$ που είχαν ατύχημα την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010. ....	<b>41</b>
<b>Σχήμα 2.26:</b> Ετήσιος μ.ο ηλικίας πλοίων με $1000 < GT \leq 20000$ που είχαν ατύχημα την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010. ....	<b>42</b>
<b>Σχήμα 2.27:</b> Ετήσιος μ.ο ηλικίας πλοίων με $GT > 20000$ που είχαν ατύχημα την περίοδο 01/01/1999-31/12/2010. ....	<b>42</b>
<b>Σχήμα 2.28:</b> Αριθμός Shipyears για κάθε κατηγορία μεγέθους και για κάθε έτος της περιόδου 1995-2010. ....	<b>44</b>
<b>Σχήμα 3.1:</b> Ετήσια συχνότητα ατυχημάτων για όλες τις κατηγορίες μεγέθους με 95% confidence intervals. Επιπρόσθετα, απεικονίζεται ο μ.ο της περιόδου. ....	<b>45</b>
<b>Σχήμα 3.2:</b> Ετήσια συχνότητα ατυχημάτων για πλοία με $499 < GT \leq 1000$ , με 95% confidence intervals. Επιπρόσθετα, απεικονίζεται ο μ.ο της περιόδου. ....	<b>46</b>
<b>Σχήμα 3.3:</b> Ετήσια συχνότητα ατυχημάτων για πλοία με $1000 < GT \leq 20000$ , με 95% confidence intervals. Επιπρόσθετα, απεικονίζεται ο μ.ο της περιόδου. ....	<b>46</b>
<b>Σχήμα 3.4:</b> Ετήσια συχνότητα ατυχημάτων για πλοία με $GT > 20000$ , με 95% confidence intervals και απεικόνιση του μ.ο του περιόδου. ....	<b>47</b>
<b>Σχήμα 3.5:</b> Αποτελέσματα μελέτης IACS για το σύνολο των πλοίων. ....	<b>48</b>
<b>Σχήμα 3.6:</b> Αποτελέσματα μελέτης IACS για τα πλοία με $1000 < GT \leq 20000$ . ....	<b>48</b>
<b>Σχήμα 3.7:</b> Απεικόνιση του επίπεδου εμπιστοσύνης C και της τιμής $z^*$ στην περίπτωση της τυπικής κανονικής κατανομής. ....	<b>50</b>
<b>Σχήμα 3.8:</b> Ετήσια μεταβολή συχνοτήτων ατυχημάτων για όλες τις κατηγορίες μεγέθους για την περίοδο 1995-2010. Επιπρόσθετα, απεικονίζονται οι 3-year moving averages. ....	<b>52</b>
<b>Σχήμα 3.9:</b> Ετήσια accident rates για ατυχήματα Collision, για την περίοδο 1995-2010. ....	<b>53</b>
<b>Σχήμα 3.10:</b> Ετήσια accident rates για ατυχήματα Contact, για την περίοδο 1995-2010. ....	<b>54</b>
<b>Σχήμα 3.11:</b> Ετήσια accident rates για ατυχήματα Foundering, για την περίοδο 1995-2010. ....	<b>54</b>
<b>Σχήμα 3.12:</b> Ετήσια accident rates για ατυχήματα Wrecked/Stranded, για την περίοδο 1995-2010. ....	<b>55</b>
<b>Σχήμα 3.13:</b> Ετήσια accident rates για ατυχήματα Hull/Machinery, για την περίοδο 1995-2010. ....	<b>55</b>
<b>Σχήμα 3.14:</b> Ετήσια accident rates για ατυχήματα Fire/Explosion, για την περίοδο 1995-2010. ....	<b>56</b>
<b>Σχήμα 3.15:</b> Κατανομή των ατυχημάτων που οδήγησαν σε απώλεια του πλοίου για την περίοδο 1995-2010 ( $GT > 499$ ). ....	<b>57</b>
<b>Σχήμα 3.16:</b> Ετήσιες συχνότητες total loss για την περίοδο 1995-2010, πλοία με $GT > 499$ . Απεικονίζονται τα 95% c.i και ο μέσος όρος της περιόδου. ....	<b>58</b>
<b>Σχήμα 3.17:</b> Ετήσιες συχνότητες total loss για την περίοδο 1995-2010, πλοία με $499 < GT \leq 1000$ . Απεικονίζονται τα 95% c.i και ο μέσος όρος της περιόδου. ....	<b>58</b>
<b>Σχήμα 3.18:</b> Ετήσιες συχνότητες total loss για την περίοδο 1995-2010, πλοία με $1000 < GT \leq 20000$ . Απεικονίζονται τα 95% c.i και ο μέσος όρος της περιόδου. ....	<b>59</b>
<b>Σχήμα 3.19:</b> Ετήσιες συχνότητες total loss για την περίοδο 1995-2010, πλοία με $GT > 20000$ . Απεικονίζονται τα 95% c.i και ο μέσος όρος της περιόδου. ....	<b>59</b>
<b>Σχήματα 3.20(α-δ):</b> Αποτελέσματα μελέτης IACS για τις συχνότητες total loss για τις διάφορες κατηγορίες μεγέθους των πλοίων. ....	<b>60,61</b>
<b>Σχήμα 3.21:</b> Κατανομή των ατυχημάτων που οδήγησαν σε ανθρώπινες απώλειες για την περίοδο 1995-2010 ( $GT > 499$ ). ....	<b>62</b>
<b>Σχήμα 3.22:</b> Ετήσιες συχνότητες fatalities για την περίοδο 1995-2010, πλοία με $GT > 499$ . Απεικονίζονται τα 95% c.i και ο μέσος όρος της περιόδου. ....	<b>64</b>
<b>Σχήμα 3.23:</b> Ετήσιες συχνότητες fatalities για την περίοδο 1995-2010, πλοία με $499 < GT \leq 1000$ . Απεικονίζονται τα 95% c.i και ο μέσος όρος της περιόδου. ....	<b>64</b>

<b>Σχήμα 3.24:</b> Ετήσιες συχνότητες fatalities για την περίοδο 1995-2010,πλοία με 1000<GT≤20000.Απεικονίζονται τα 95% c.i και ο μέσος όρος της περιόδου.....	<b>65</b>
<b>Σχήμα 3.25:</b> Ετήσιες συχνότητες fatalities για την περίοδο 1995-2010,πλοία με GT>20000.Απεικονίζονται τα 95% c.i και ο μέσος όρος της περιόδου.....	<b>65</b>
<b>Σχήμα 3.26:</b> Αποτελέσματα μελέτης IACS για τις συχνότητες των fatalities για το σύνολο των πλοίων. ....	<b>66</b>
<b>Σχήμα 3.27:</b> Αποτελέσματα μελέτης IACS για τις συχνότητες των fatalities για τα πλοία με GT 500-1000. ....	<b>66</b>
<b>Σχήμα 3.28:</b> Αποτελέσματα μελέτης IACS για τις συχνότητες των fatalities για τα πλοία με GT 1000-20000. ....	<b>67</b>
<b>Σχήμα 3.29:</b> Αποτελέσματα μελέτης IACS για τις συχνότητες των fatalities για τα πλοία με GT>20000. ....	<b>67</b>
<b>Σχήμα 3.30:</b> Αριθμός ατυχημάτων/πλοία•έτη για κάθε έτος κατασκευής εντός της περιόδου 1985-2010.πλοία τύπου Γ/Φ με GT>499. ....	<b>68</b>
<b>Σχήμα 3.31:</b> Αριθμός ατυχημάτων/πλοία•έτη ανά ηλικία για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010(πλοία με GT>499). ....	<b>69</b>
<b>Σχήμα 3.32:</b> Κατανομές των ομάδων ‘ελέγχου’ και ‘θεραπείας’ μιας μελέτης.....	<b>74</b>
<b>Σχήμα 3.33:</b> 3 διαφορετικά σενάρια κατανομών με ίση διαφορά μέσων τιμών.....	<b>75</b>
<b>Σχήμα 3.34:</b> Συνάρτηση του t-test. ....	<b>75</b>
<b>Σχήμα 3.35:</b> Standard Error of Difference για το t-test. ....	<b>76</b>
<b>Σχήμα 3.36:</b> Τελική συνάρτηση του t-test. ....	<b>76</b>
<b>Σχήμα 4.1:</b> Ιστόγραμμα της παραμέτρου GT.....	<b>80</b>
<b>Σχήμα 4.2:</b> Κανονική κατανομή για μια ομάδα δεδομένων.....	<b>81</b>
<b>Σχήμα 4.3:</b> Σύγκριση αθροιστικών συναρτήσεων κατανομής.....	<b>81</b>
<b>Σχήμα 4.4:</b> Απεικόνιση της διαφοράς Dn. ....	<b>83</b>
<b>Σχήμα 4.5:</b> Πιθανοθεωρητική Κατανομή της παραμέτρου GT.....	<b>85</b>
<b>Σχήμα 4.6:</b> Αθροιστικές συναρτήσεις κατανομών για την παράμετρο GT.....	<b>86</b>
<b>Σχήμα 4.7:</b> Ιστόγραμμα της ηλικίας των πλοίων. ....	<b>88</b>
<b>Σχήμα 4.8:</b> Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για την ηλικία του πλοίου.....	<b>88</b>
<b>Σχήμα 4.9:</b> Αθροιστική συνάρτηση κατανομής για την ηλικία του πλοίου.....	<b>89</b>
<b>Σχήμα 4.10:</b> Ιστόγραμμα της ισχύος των πλοίων. ....	<b>91</b>
<b>Σχήμα 4.11:</b> Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για την ισχύ του πλοίου.....	<b>91</b>
<b>Σχήμα 4.12:</b> Αθροιστική συνάρτηση κατανομής για την ισχύ του πλοίου.....	<b>92</b>
<b>Σχήμα 4.13:</b> Ιστόγραμμα για τον τύπο του ατυχήματος.....	<b>94</b>
<b>Σχήμα 4.14:</b> Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για τον τύπο του ατυχήματος.....	<b>94</b>
<b>Σχήμα 4.15:</b> Αθροιστική συνάρτηση κατανομής για τον τύπο του ατυχήματος.....	<b>95</b>
<b>Σχήμα 4.16:</b> Ιστόγραμμα για την παράμετρο των καιρικών συνθηκών.....	<b>97</b>
<b>Σχήμα 4.17:</b> Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για την παράμετρο των καιρικών συνθηκών. ....	<b>98</b>
<b>Σχήμα 4.18:</b> Αθροιστική συνάρτηση κατανομής για την παράμετρο των καιρικών συνθηκών.....	<b>99</b>
<b>Σχήμα 4.19:</b> Ιστόγραμμα για την παράμετρο της κατάστασης φόρτωσης.....	<b>100</b>
<b>Σχήμα 4.20:</b> Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για την παράμετρο της κατάστασης φόρτωσης.....	<b>101</b>
<b>Σχήμα 4.21:</b> Αθροιστική συνάρτηση κατανομής για την παράμετρο της κατάστασης φόρτωσης. ....	<b>102</b>
<b>Σχήμα 4.22:</b> Ιστόγραμμα για την παράμετρο των συνεπειών.....	<b>103</b>
<b>Σχήμα 4.23:</b> Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για την παράμετρο των συνεπειών.....	<b>103</b>
<b>Σχήμα 4.24:</b> Αθροιστική συνάρτηση κατανομής για την παράμετρο των συνεπειών.....	<b>104</b>

<b>Σχήμα 4.25:</b> Διαχωρισμός της κατανόησης μιας μεταβλητής σε διαστήματα ίσης πιθανότητας..	<b>108</b>
<b>Σχήμα 4.26:</b> Απεικόνιση της τεχνικής της Latin Hypercube sampling για 2 μεταβλητές και 8 διαστήματα.	<b>109</b>
<b>Σχήματα 4.27(α-δ):</b> Απεικόνιση Σεναρίων.	<b>110,111</b>
<b>Σχήμα 5.1:</b> το user's interface του See5.	<b>120</b>
<b>Σχήμα 5.2:</b> Μενού Επιλογών Κατασκευής Ταξινομητή.	<b>121</b>
<b>Σχήματα 5.3-5.5:</b> Απεικόνιση σεναρίων με υψηλές συνέπειες.	<b>139,140</b>

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 2.1:</b> Αλφαβητική λίστα Νηογνομόνων που διαθέτει η βάση δεδομένων της Sea-Web. ....	<b>17</b>
<b>Πίνακας 2.2:</b> Αριθμός αναφορών ατυχημάτων για κάθε κατηγορία πλοίων τύπου Γ/Φ, με GT>499 και για την περίοδο 01/01-1995-31/12-2010. ....	<b>20</b>
<b>Πίνακας 2.3:</b> Αριθμός ατυχημάτων για την κάθε κατηγορία μεγέθους για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010. ....	<b>22</b>
<b>Πίνακας 2.4:</b> Αριθμός ατυχημάτων ανά κατηγορία ατυχήματος για πλοία τύπου Γ/Φ,GT>499κόρους και για τη περίοδο 01/01/1995-31/12/2010.....	<b>23</b>
<b>Πίνακας 2.5:</b> Γεωγραφικές ζώνες με τα περισσότερα ατυχήματα.....	<b>26</b>
<b>Πίνακας 2.6:</b> Ατυχήματα τύπου Collision. ....	<b>27</b>
<b>Πίνακας 2.7:</b> Ατυχήματα τύπου Contact. ....	<b>28</b>
<b>Πίνακας 2.8:</b> Ατυχήματα τύπου Fire/Explosion. ....	<b>29</b>
<b>Πίνακας 2.9:</b> Ατυχήματα τύπου Foundering. ....	<b>30</b>
<b>Πίνακας 2.10:</b> Ατυχήματα τύπου Hull/Machinery Damage.....	<b>31</b>
<b>Πίνακας 2.11:</b> Ατυχήματα τύπου Wrecked/Stranded. ....	<b>32</b>
<b>Πίνακας 2.12:</b> Ετήσιοι στόλοι κάθε καθε κατηγορίας μεγέθους για την περίοδο 1995-2010..	<b>43</b>
<b>Πίνακας 3.1:</b> Αριθμός ατυχημάτων με fatalities και μέσος αριθμός fatalities/ατύχημα για κάθε τύπο ατυχήματος(πλοία τύπου Γ/Φ,GT>499,για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010)..	<b>63</b>
<b>Πίνακας 3.2:</b> Κατανομή ατυχημάτων σε ηλικιακά γκρουπ για κάθε κατηγορία μεγέθους για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010. ....	<b>69</b>
<b>Πίνακας 3.3:</b> Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των accident rates ανά έτος για κάθε κατηγορία μεγέθους για την περίοδο 1995-2010. ....	<b>72</b>
<b>Πίνακας 3.4:</b> Αποτελέσματα Ανονα , όπως προέκυψαν από το πρόγραμμα MS Excel.....	<b>73</b>
<b>Πίνακας 3.5:</b> Αποτελέσματα t-test , όπως προέκυψαν από το πρόγραμμα MS Excel.....	<b>76</b>
<b>Πίνακας 3.6:</b> Αποτελέσματα F-test , όπως προέκυψαν από το πρόγραμμα MS Excel.....	<b>77</b>
<b>Πίνακας 4.1:</b> Χαρακτηριστικά μεγέθη των κατανομών της παραμέτρου GT.....	<b>85</b>
<b>Πίνακας 4.2:</b> Χαρακτηριστικά μεγέθη των κατανομών για την ηλικία του πλοίου τη στιγμή του ατυχήματος. ....	<b>89</b>
<b>Πίνακας 4.3:</b> Χαρακτηριστικά μεγέθη των κατανομών για την ισχύ των πλοίων.....	<b>92</b>
<b>Πίνακας 4.4:</b> Χαρακτηριστικά μεγέθη των κατανομών για τον τύπο του ατυχήματος.....	<b>95</b>
<b>Πίνακας 4.5:</b> Χαρακτηριστικά μεγέθη των κατανομών για την παράμετρο των καιρικών συνθηκών. ....	<b>98</b>
<b>Πίνακας 4.6:</b> Χαρακτηριστικά μεγέθη των κατανομών για την παράμετρο της κατάστασης φόρτωσης. ....	<b>101</b>
<b>Πίνακας 4.7:</b> Χαρακτηριστικά μεγέθη των κατανομών για την παράμετρο των συνεπειών.	<b>104</b>
<b>Πίνακας 4.8:</b> Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την πειλογή κατανομών των παραμέτρων.	<b>110</b>
<b>Πίνακας 4.9:</b> Στατιστική σύνοψη των αποτελεσμάτων των σεναρίων.....	<b>111</b>
<b>Πίνακας 4.10:</b> Εκατοστημόρια επί των παραμέτρων των σεναρίων.....	<b>111</b>
<b>Πίνακας 5.1:</b> Αρχείο .names. ....	<b>117</b>
<b>Πίνακας 5.2:</b> Αρχείο .data.....	<b>118</b>
<b>Πίνακας 5.3:</b> Σενάκια με τις πιο μεγάλες συνέπειες.....	<b>159</b>

## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> :ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πάντοτε τα ναυτικά ατυχήματα θα βρίσκονται στο προσκήνιο και δεν μπορεί αυτό να είναι διαφορετικό μιας και θα υπάρχουν πάντα ατυχήματα ανεξαρτήτου τι μπορεί να γίνει. Αυτό όμως που έχει σημασία είναι η συμβολή όλων των εμπλεκομένων στη ναυτιλία ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός τους. Για το λόγο αυτό, κάθε ναυτικό ατύχημα πρέπει να μελετάται σε βάθος και κατά τρόπο επιστημονικό και όλα τα αποτελέσματα και συμπεράσματα των μελετών θα πρέπει να μοιράζονται και να κοινοποιούνται.

Η παρούσα διπλωματική εργασία διαπραγματεύεται ναυτικά ατυχήματα πλοίων τύπου Γ/Φ για την περίοδο 1995-2010 και έχει ως στόχο αφενός την εξακρίβωση της σοβαρότητας των συγκεκριμένων ατυχημάτων και αφετέρου την αναγνώριση των παραμέτρων εκείνων που πιθανώς να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο σε ένα ναυτικό ατύχημα με σκοπό τη μελλοντική περαιτέρω μελέτη αυτών για αποφυγή μέρος των ατυχημάτων.

Έναυσμα για την παρούσα εργασία αποτέλεσε μια μελέτη του IACS (International Association of Classification Societies). Η μελέτη αυτή είχε αντικείμενο τα ναυτικά ατυχήματα της περιόδου 1997-2008 και τα ποτελέσματα αυτής θα αποτελούν κριτήριο για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της εργασίας. Στη μελέτη του IACS τα ατυχήματα διαχωρίζονται και μελετώνται σε 3 κατηγορίες μεγέθους και αυτό γίνεται και στην παρούσα εργασία ώστε η σύγκριση να αφορά σε ομοειδή αποτελέσματα. Ωστόσο, η μελέτη του IACS αφορά σε πλοία των κλάσεων που ανήκουν σε αυτόν ενώ η διπλωματική εργασία μελετά όλες τις κλάσεις.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, το πρώτο κεφάλαιο περιέχει μια αναφορά στα ιστορικά δεδομένα για ναυτικά ατυχήματα πλοίων τύπου Γ/Φ με βάση τις αναφορές ατυχημάτων που υπάρχουν στη βάση δεδομένων της Sea-Web. Το σημαντικό που προέκυψε από την εξερεύνηση των δεδομένων είναι η μεγάλη αύξηση ατυχημάτων που παρατηρείται την περασμένη 15ετία για πλοία τύπου Γ/Φ γεγονός που αναδεικνύεται σε μεγαλύτερο βαθμό μέσω της σύγκρισης με πλοία διαφορετικού τύπου όπως τα Tankers, των οποίων η ετήσια μεταβολή του αριθμού των ατυχημάτων βρίσκεται σε πλήρη αντίθεση, αφού μειώνεται διαρκώς. Αυτό σημαίνει ότι οι αυστηρότεροι κανονισμοί έχουν έμπρακτα αποτελέσματα και ίσως θα έπρεπε να εφαρμοστούν τέτοιοι και στην περίπτωση των General Cargo Ships. Εν συνεχεία, και αφού υπολογίστηκαν τα πλοία•έτη της μελέτης, αριθμός απαραίτητος για τον υπολογισμό συχνοτήτων, ακολούθησε μια στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Το σύνολο των δεδομένων χωρίστηκε σε 2 άξονες:

- Με βάση το μέγεθος σε 3 κατηγορίες
  - $499 < GT \leq 1000$
  - $1000 < GT \leq 2000$
  - $GT > 20000$
- Με βάση τον τύπο του ατυχήματος σε 6 κατηγορίες.
  - Σύγκρουση (Collision)
  - Επαφή (Contact)
  - Βύθιση/Ημιβύθιση (Foundered)
  - Φωτιά/Έκρηξη (Fire/Explosion)
  - Προσάραξη (Wrecked/Stranded)
  - Ασοχίας Γάστρας/Μηχανική Βλάβη (Hull/Machinery Damage)

Ο δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνει τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων με τον υπολογισμό συχνοτήτων ατυχημάτων και ειδικότερα συχνοτήτων ατυχημάτων που οδήγησαν σε ολική απώλεια (total loss) του πλοίου και συχνοτήτων ατυχημάτων που οδήγησαν σε ανθρώπινες απώλειες (fatalities), τα αποτελέσματα των οποίων ήταν παραπλήσια αυτών που προέκυψαν από αντίστοιχη μελέτη του IACS για πλοία General Cargo, δεδομένου της διαφοράς των πλοίων. Έτη αφού η διπλωματική εργασία αναφέρεται σε ατυχήματα πλοίων όλων των κλάσεων. Με την εφαρμογή κατάλληλων στατιστικών tests διαπιστώθηκε πως υπάρχει στατιστική διαφορά τόσο ως προς τις κατηγορίες μεγέθους, όσο και ως προς το έτος του ατυχήματος. Σημειώνεται σε αυτό το σημείο ότι η μεσαία κατηγορία μεγέθους όπου ανήκουν πλοία με  $100 < GT \leq 20000$ , συγκεντρώνει τη μεγάλη πλειοψηφία των πλοίων και τα αποτελέσματα αυτής είναι αντιπροσωπευτικά αυτών του συνόλου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, έγινε επιλογή ενός δείγματος των ατυχημάτων προς περισσότερη ανάλυση. Επιλέχθηκαν τα ατυχήματα που είχαν τις περισσότερες ανθρώπινες απώλειες. Για τα ατυχήματα αυτά επιλέχθηκαν κάποιες παράμετροι και καταγράφηκαν οι τιμές τους. Με χρήση κατάλληλου υπολογιστικού πακέτου αποδόθηκαν πιθανοθεωρητικές κατανομές οι οποίες θεωρήθηκαν, με βάση στατιστικό κριτήριο, ότι περιγράφουν βέλτιστα το σύνολο των δεδομένων που προέκυψε για κάθε παράμετρο. Από τις κατανομές αυτές και με χρήση προψομοίωσης, μέσω άλλου υπολογιστικού πακέτου, στην οποία εφαρμόζεται εξειδικευμένη μέθοδος δειγματοληψίας παράχθηκαν σενάρια ατυχημάτων, δηλαδή καταστάσεις στις οποίες οι επιλεγμένες παράμετροι λαμβάνουν συγκεκριμένες τιμές και προκαλούν συγκεκριμένες συνέπειες.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, τα σενάρια που παράχθηκαν κατάσσονται σε 3 κλάσεις ανάλογα με το επίπεδο των συνέπειών τους. Η κατάταξη αυτή έγινε με κατάλληλο πρόγραμμα πηράγει αποτελέσματα σε δένδροειδή μορφή και είχε ως στόχο αφενός τη διάκριση των σεναρίων ώστε να είναι ευκολότερη η περαιτέρω μελέτη τους και αφετέρου η εξακρίβωση των παραμέτρων που παρουσιάζουν μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής στη διαδικασία κατάταξης, γεγονός που πιθανώς να σημαίνει πως πρέπει να αποτελέσουν το επίκεντρο της προσοχής.

Στο έκτο κεφάλαιο, περιλαμβάνονται τα συμπεράσματα της εργασίας και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> :ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

### 2.1 Εισαγωγή

Το θέμα της ασφάλειας των πλοίων τύπου General Cargo ήρθε στην επιφάνεια μετά από πρωτοβουλία της Ρωσίας κατά τη διάσκεψη του IMO το 2006 (Maritime Safety Committee 82/21/19,2006).Ο κυριότερος λόγος ήταν να τονιστεί το γεγονός ότι ενώ τα πλοία τύπου Γ/Φ αποτελούν περίπου το 17% του παγκόσμιου στόλου,καταλαμβάνουν το 42% επί των ατυχημάτων που οδηγούν σε total loss του πλοίου και το 27% των fatalities για την περίοδο 1999-2004.Συγκεκριμένα για κάθε έτος της παραπάνω περιόδου,χάνονταν 73 περίπου πλοία.Ένα ακόμη ενδιαφέρον στοιχείο,με βάση στατιστικές αναλύσεις του **ParisMOU** (Paris Memorandum of Understanding on Port State Control),είναι ότι για το έτος 2004τα πλοία τύπου Γ/Φ εμφανίζουν:

- το δεύτερο μεγαλύτερο αριθμό επιθεωρήσεων με ελλείψεις(deficiencies),συγκεκριμένα 60% ενώ ο γενικός μέσος όρος είναι 54% για όλα τα πλοία.
- το δεύτερο μεγαλύτερο αριθμό επιθεωρήσεων που επιβάλλεται κράτηση(detentions),συγκεκριμένα 8% ενώ για το σύνολο των πλοίων είναι 6%.

Ο οργανισμός αποτελείται από 27 ναυτικές διοικήσεις και καλύπτει τις παράλιες Ευρωπαϊκές περιοχές και το Β.Ατλαντικό Κόλπο από τη Β.Αμερική μέχρι την Ευρώπη. Σκοπός του είναι να εξαφανίσει τη λειτουργία υπό-πρότυπων πλοίων μέσα σε ένα αρμονικό περιβάλλον port State control.

Ετησίως διενεργούνται περισσότεροι από 24000 έλεγχοι για την εξασφάλιση υψηλών προτύπων ασφαλείας και προστασίας,τόσο του περιβάλλοντος όσο και των πληρωμάτων.

Μετά το 2006 πλήθος εργασιών πραγματοποιήθηκαν και παραδόθηκαν στα πλαίσια του IMO με σκοπό τη διευρέυση των αιτιών που οδηγούν σε total losses και fatalities για πλοία General Cargo.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα επιχειρηθεί μια στατιστική ανάλυση των ιστορικών δεδομένων με στόχο να εντοπιστούν συσχετίσεις και τάσεις χαρακτηριστικών μεγεθών της ταυτότητας ενός πλοίου που πιθανόν να μας δώσουν μια πληρέστερη εικόνα για τους υψηλούς δείκτες που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Για την ανάλυση που επιχειρήθηκε τα ιστορικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν αντλήθηκαν από τις βάσεις δεδομένων των **Clarksons** και τη **Sea-Web**,ενώ στοιχεία πάρθηκαν και από το **Equasis**.Είναι πολύ σημαντικό σε αυτό το σημείο αξίζει να αναγνωριστούν 2 παράγοντες που σχετίζονται με τη χρήση των βάσεων δεδομένων για τον καθορισμό στατιστικών παραμέτρων και είναι:

1<sup>ο</sup>) το αδήλωτο ορισμένων εκ των στοιχείων των πλοίων.

2<sup>ο</sup>) η μη καταχωρημένη αλλαγή ορισμένων στοιχείων(όπως η σημαία,ο τύπος του πλοίου κ.α)

Βέβαια τέτοιου είδους προβλήματα αφορούν σε όλες τις βάσεις δεδομένων και όχι μόνο σε αυτές που χρησιμοποιήθηκαν,οι οποίες θεωρούνται σχετικά πλήρεις.

Ο στόχος της στατιστικής ανάλυσης των ιστορικών στοιχείων είναι να αποδόσει ένα στιγμιότυπο της υπό μελέτη περιόδου.Η συνέπεια μεταξύ στατιστικών και πραγματικότητας επηρεάζεται άμεσα από ελλείψεις ή τυχόν λανθασμένες καταχωρήσεις στις βάσεις δεδομένων.Οι ελλείψεις αυτές οδηγούν εν γένει σε μια πιο αισιόδοξη εκτίμηση.Για να



επιτευθεί επομένως μια πλήρης εξέταση των αναφορών των ατυχημάτων απαιτείται ολοκληρωμένη καταγραφή των στοιχείων του κάθε ατυχήματος. Γνωρίζοντας όμως ότι η λειτουργία των πλοίων εκτείνεται σε όλο τον κόσμο για την απόκτηση των δεδομένων των ατυχημάτων συμπεριλαμβανομένου των αιτιών και των συνεπειών τους απαιτείται ένα εξελιγμένο,ραφινारισμένο σύστημα.Από τη διαδικασία που ακολουθήσαμε για την ανάλυση αυτή,προέκυψε ότι τουλάχιστον προς το παρόν δεν υπάρχει συνεπής απόκτηση και ενημέρωση στοιχείων σχετικών με τη σημαία ή την κλάση του πλοίου.Ο λόγος δεν μπορεί να είναι γνωστός.Σίγουρα όμως σχετίζεται με το underreporting,το γεγονός δηλαδή ότι δεν υπάρχει πλήρης δήλωση των στοιχείων στις αναφορές.

Ακόμη,ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τον υπολογισμό της συχνότητας ατυχημάτων είναι ο αριθμός των πλοίων•έτη (shipyards).Είναι αναγκαίος επομένως ο σωστός καθορισμός του.Στην παρούσα μελέτη ο αριθμός των shipyears καθορίζεται από τις ημερομηνίες ‘due or delivered’ και λαμβάνοντας υπόψιν την ημερομηνία λειτουργίας (και όχι μόνο το έτος).Ο υπολογισμός θα ήταν πιο ακριβής αν γνωρίζαμε τον αριθμό και τις ημερομηνίες πλοίων ‘scrapped or lost’,κάτι που όμως δεν κατέστη δυνατό.Τα δεδομένα που είχαμε στη διάθεσή μας επιτρέπουν τον υπολογισμό της συχνότητας ατυχημάτων για ένα τύπο πλοίου.Όταν όμως αυτή η διαδικασία γίνεται για πλοία μιας κλάσης (ενός νηογνώμονα) συγκεκριμένα, ο υπολογισμός δεν είναι δυνατόν διότι τα στοιχεία της βάσης δεδομένων αφορούν μόνο την παρούσα κλάση στην οποία ανήκει το πλοίο και δεν υπάρχει ιστορικό των αλλαγών κλάσεων.

Στην περίπτωση μας η ανάλυση που επιχειρήθηκε αφορά όλα τα πλοία τύπου Γ/Φ ανεξαρτήτως της κλάσης τους.Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την αναζήτηση εντός της βάσης δεδομένων ήταν οι εξής:

- Πλοία που παραδόθηκαν μετά από την 01/01/1985 και πριν από την 01/01/2010 και λειτουργούσαν την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010 (γεγονός που συνεπάγεται ότι η μέγιστη παρατηρούμενη ηλικία ενός πλοίου είναι τα 25 έτη)
- Πλοία με GT μεγαλύτερο από 499 κόρους.
- Οι αναφορές αφορούν ‘σοβαρά’ ατυχήματα.

Δε χρησιμοποιήθηκε ως κριτήριο αναζήτησης η κλάση ή η σημαία του πλοίου.Συνεπώς τα στατιστικά στοιχεία και οι συχνότητες ατυχημάτων παράγονται για τις εξής κατηγορίες:

1<sup>ov</sup>)σε σχέση με το μέγεθος του πλοίου:

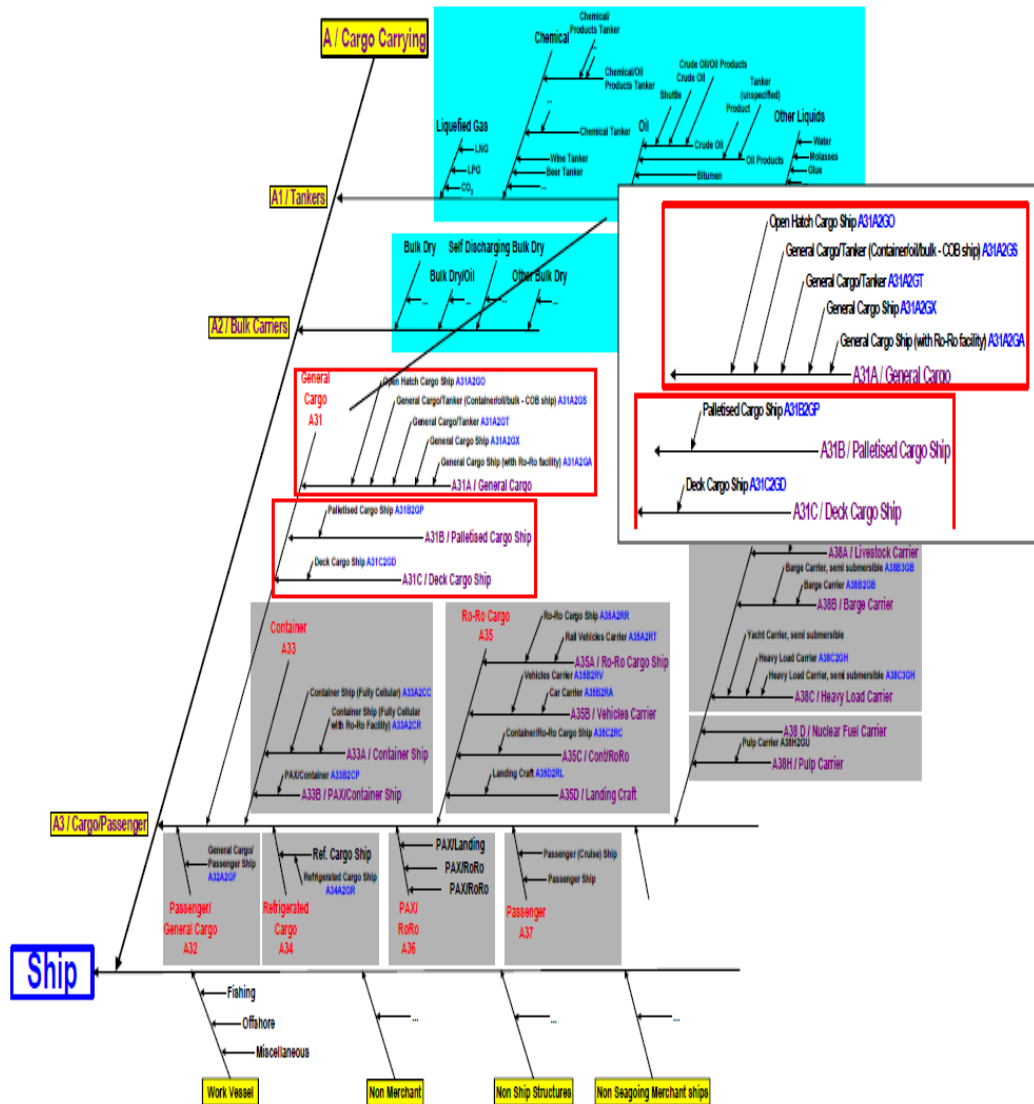
- $500 \leq GT \leq 1000$
- $1000 < GT \leq 20000$
- $20000 < GT$

2<sup>ov</sup>)σε σχέση με τις κατηγορίες ατυχήματος

- Όλα τα ‘σοβαρά’ ατυχήματα,δηλαδή τα ατυχήματα που οδηγούν σε δομική βλάβη η οποία καθιστά το πλοίο αναξιόπιστο για πλεύση(π.χ διάρρηξη της γάστρας κοντά στον πυθμένα),σε ακινητοποίηση των κύριων μηχανών,σε εκτενή βλάβη,σε κατάρρευση-‘σπάσιμο’ και γενικά σε οποιαδήποτε βλάβη ή οικονομική ζημία που θεωρείται σημαντική.
- Ατυχήματα που οδηγούν σε ολική απώλεια του πλοίου.
- Ατυχήματα που έχουν θύματα και αγνοουμένους ως συνέπεια.

## 2.2 Η Βάση Δεδομένων

Η ανάλυση της διπλωματικής εργασίας εστιάζεται σε πλοία τύπου Γενικού Φορτίου (General Cargo Ships). Η βάση δεδομένων από την οποία αντλήθηκαν τα ιστορικά στοιχεία είναι η **Sea-Web**, και στην οποία χρησιμοποιείται ο κώδικας 'StatCode5v'. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε τη διάρθρωση του κώδικα αυτού.



Σχήμα 2.1: Κατηγοριοποίηση των διάφορων τύπων πλοίου με βάση το 'StatCode5v'.

Με βάση αυτό τον κώδικα κατάταξης τα πλοία General Cargo διακρίνονται σε πρώτο επίπεδο σε τρεις κατηγορίες:

- General Cargo (A31A)
- Palletised Cargo Ship (A31B)
- Deck Cargo Ship (A31C)

Για αυτές τις υπό-κατηγορίες, περαιτέρω υπό-κατηγορίες ορίζονται με βάση το 'StatCode5v'. Τελικά οι σημαντικότερες υπο-κατηγορίες "General Cargo Ship", για τις οποίες γίνεται μια αρχική αναζήτηση ιστορικών στοιχείων, είναι οι παρακάτω:

- General Cargo Ship(with Ro/Ro facilities),A31A2GA
- Open Hatch Cargo Ship,A31A2GO
- General Cargo/Tanker(Container/Oil/Bulk-COB Ships),A31A2GS
- General cargo/tanker,A31A2GT
- General Cargo Ship,A31A2GX
- Palletised Cargo Ship,A31B2GP
- Deck Cargo Ship,A31C2GD

Ενδεικτικά, αναφέρουμε ορισμένα χαρακτηριστικά του "StatCode5v". Οι κωδικές ονομασίες, που αναφέρονται μετά τον κάθε τύπο πλοίου προκύπτουν από την κατηγοριοποίηση των πλοίων σε πέντε επίπεδα.

Αρχικά, σε πρώτο επίπεδο ορίζεται ο γενικός τύπος του πλοίου-κατασκευής. Έτσι έχουμε:

- A: Cargo Carrying Ship
- B: Work Vessel
- W: Non Seagoing Merchant Ships
- X: Non Merchant
- Y: Non propelled
- Z: Non Ship Structures

Σε δεύτερο επίπεδο, ορίζεται η γενική κατηγορία στην οποία ανήκει το πλοίο. Για παράδειγμα:

- A1: Tankers
- A2: Bulk Carriers
- A3: Dry Cargo/Passenger
- B1: Fishing
- B2: Offshore
- B3: Miscellaneous

Το τρίτο επίπεδο διαχωρίζει τα πλοία με βάση τον τύπο φορτίου που μεταφέρουν ορισμένο κατά μία γενική έννοια (κατηγορία A) ή με βάση το γενικευμένο όρο που χρησιμοποιείται για τον τομέα λειτουργίας τους (κατηγορία B). Για παράδειγμα:

- A11: Liquified Gas
- A12: Chemical
- A13: Oil
- A14: Other Liquids
- A21: Bulk Dry
- A22: Bulk Dry/Oil
- A23: Self Discharging Bulk Dry
- A24: Other Bulk Dry
- A31: General Cargo
- A32: Passenger/General Cargo
- A33: Container
- A34: Refrigerated Cargo
- A35: Ro-Ro Cargo
- A36: Passenger/ Ro-Ro Cargo
- A37: Passenger

- A38:Other Dry Cargo
- B11:Fish Catching
- B12:Other Fishing
- B21:Offshore Supply
- B22:Other Offshore
- B31:Research
- B32:Towing/Pushing
- B33:Dredging
- B34:Other Activities

Σε τέταρτο επίπεδο ορίζεται το ακριβές μεταφερόμενο φορτίο.Επειδή πλέον οι υποκατηγορίες έχουν αυξηθεί σημαντικά θα αναφέρουμε μόνο μερικές ενδεικτικά.

- A11A:LNG Tanker
- A11B:LPG Tanker
- A13A:Crude Oil Tanker
- A21A:Bulk Carrier
- A21B:Ore Carrier
- A31A:General Cargo
- A31B:Palletised Cargo Ship
- A31C:Deck Cargo Ship

Τέλος,σε πέμπτο επίπεδο ορίζεται αν το πλοίο είναι doublehull(κωδικός 2) και συμπληρώνεται από δύο γράμματα που αποτελούν την κωδική ονομασία του συγκεκριμένου τύπου πλοίου που μεταφέρει το συγκεκριμένο φορτίο και επιτελεί τη συγκεκριμένη λειτουργία.Για παράδειγμα:

- A13B2TP:Product Tanker
- A12A2TC:Chemical Tanker
- A11C2LC:CO2 Tanker
- A22A2BB:Bulk/Oil Carrier(OBO)
- A24B2BW:Woods Chips Carrier
- A24H2BZ:Powder Carrier

Για τα πλοία τύπου Γ/Φ αναφέρθηκαν στην αρχή μερικές από τις τελικές κωδικοποιημένες ονομασίες τους.Τώρα θα δώσουμε τους ορισμούς για αυτούς του τύπους πλοίων General Cargo.

1<sup>ov</sup>) **General Cargo Ship with Ro-Ro facility**

StatCode5v:A13A2GA

Είναι ένα πλοίο τύπου Γ/Φ με την επιπρόσθετη δυνατότητα φόρτωσης και εκφόρτωσης οχημάτων κατά περιορισμένο ποσοστό επί του συνολικού διαθέσιμου χώρου φορτίου.

2<sup>ov</sup>) **Open Hatch Cargo Ship**

StatCode5v:A13A2GO

Είναι μεγάλου μεγέθους,ενός καταστρώματος με πλήρους πλάτους ανοίγματα στο κατάστρωμα και τετραγωνισμένα αμπάρια για τη μεταφορά μοναδοποιημένου ξηρού φορτίου όπως δασικά προϊόντα και containers.Πολλά είναι εφοδιασμένα και με ένα γερανό ατσάλινου σκελετού.

3<sup>ov</sup>) **General Cargo/Tanker/(Container/Oil/Bulk-COB Ship)**

StatCode5v:A31A2GS

Είναι ένα πλοίο τύπου Γ/Φ που διαθέτει αναστρέψιμες μπουκαπόρτες.Συγκεκριμένα,η μία πλευρά είναι ισόπεδη ενώ η άλλη έχει διαφράγματα ώστε να μεταφέρονται υγρά φορτία.Ακόμη,containers μπορούν να μεταφερθούν όταν οι μπουκαπόρτες είναι στη λειτουργία για ξηρό φορτίο.

4<sup>ov</sup>) **General Cargo/Tanker**

StatCode5v:A31A2GT

Είναι ένα πλοίο τύπου Γ/Φ που διαθέτει δεξαμενές για επιπρόσθετη μεταφορά υγρού φορτίου.

5<sup>ov</sup>) **General Cargo Ship**

StatCode5v:A31A2GX

Είναι πλοίο με ένα ή περισσότερα καταστρώματα και μεταφέρει ποικίλους τύπους ξηρού φορτίου. Συνήθως πλοία αυτού του τύπου που έχουν ένα κατάστρωμα μεταφέρουν φορτίο σε μορφή κιβωτίων. Το φορτίο φορτώνεται και εκφορτώνεται μέσω ανοιγμάτων επί του καταστρώματος καιρού.

6<sup>ov</sup>) **Palletised General Cargo**

StatCode5v:A31B2GP

Είναι πλοίο τύπου Γ/Φ με ένα ή περισσότερα καταστρώματα στο οποίο η φόρτωση-εκφόρτωση γίνεται με ανελκυστήρα με παλέτες. Δεν υπάρχουν ανοίγματα επί του καταστρώματος καιρού σε αυτόν τον τύπο πλοίου.

7<sup>ov</sup>) **Deck Cargo Ship**

StatCode5v:A31C2GD

Πλοία αυτού του τύπου προορίζονται για τη μεταφορά μοναδιοποιημένου φορτίου επί του καταστρώματος μόνο. Για πρόσβαση είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ράμπα ανάλογη αυτών που συναντούμε σε Ro-Ro.

Επί του τελικού αριθμού πλοίων που εξετάστηκαν δεν συμπεριλαμβάνονται αυτά που:

- 1) δόθηκαν για scrapping ή χάθηκαν πριν από 1995-01-01.
- 2) ήρθαν σε λειτουργία μετά από 2010-12-31.
- 3) που ήταν σε παραγγελία.
- 4) που ακυρώθηκε η παραγγελία ή ήταν σε αναμονή της παράδοσης.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των πλοίων τύπου Γ/Φ που βρίσκονταν σε λειτουργία αλλά και των ατυχημάτων που συνέβησαν την εξεταζόμενη περίοδο 1995-2010, ανήκουν στην κατηγορία 'General Cargo Ship' με κωδικό A31A2GX. Πιστεύεται ότι όλα τα πλοία που δεν μπορούν να ενταχθούν σε κάποια άλλη υποκατηγορία, συμπεριλαμβάνονται σε αυτή. Για τα πλοία με κωδικό A31A2GS, δηλαδή τα 'COB Ships' και αυτά με κωδικό A31A2GT, που είναι τα 'General Cargo/Tankers', δε βρέθηκαν περιπτώσεις-αναφορές ατυχημάτων για τη συγκεκριμένη περίοδο. Για το λόγο αυτό, μόνο τα 'General Cargo Ships' λήφθηκαν υπόψιν για την ανάλυση που θα ακολουθήσει.

Ένα ακόμη ενδιαφέρον στοιχείο που πρέπει να επισημανθεί είναι η απουσία του ονόματος της κλάσης σε ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό των πλοίων που βρέθηκαν από τη Sea-Web.

Στη βάση δεδομένων παρέχονται ποικίλα στοιχεία της ταυτότητας του πλοίου, όπως ο αριθμός IMO, η κλάση, το μέγεθος του πλοίου, κ.α. Στο πεδίο 'Current Class' καθορίζεται η τωρινή κλάση του πλοίου. Στη βάση δεδομένων της υπάρχει δυνατότητα αναζήτησης πλοίων εκ των ακόλουθων 68 κλάσεων που περιέχονται με αλφαβητική σειρά στον παρακάτω πίνακα.

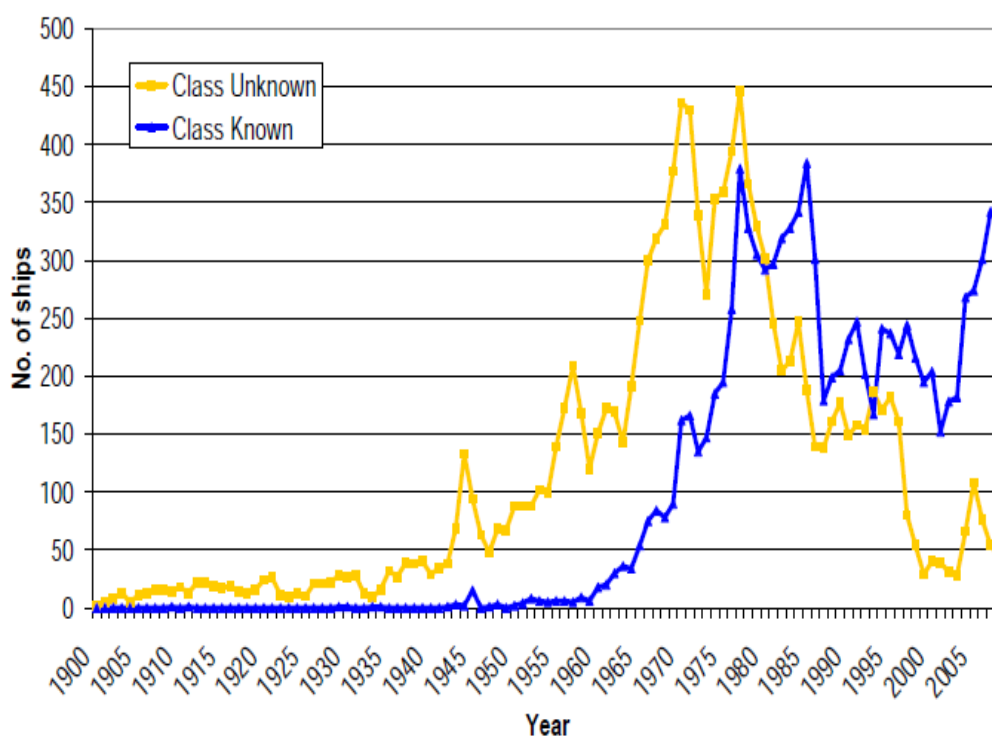
**Πίνακας 2.1:** Αλφαβητική λίστα Νηογνωμόνων που διαθέτει η βάση δεδομένων της Sea-Web.

American Bureau of Shipping	Iranian Classification Society	Panama Register
Soc Andina de Certification	Indian Register of Shipping	Panama Marine Documentation

Asia Classification Society	International Register	Panama Marine Survey
Bulgarski Koraben Register	Intermaritime	Panama Shipping Registrar
Black Sea Bureau of Shipping	International Maritime Bureau	Phoenix Register of Shipping
Bureau Veritas	International Naval Surveys	Polski Rejestr Statkow
Belize Maritime Bureau	International Ship Classification	Registro Brasileiro
Columbus American Register	Jugoslavenski Registar Brodova	Registro Cubano de Buques
China Classification Society	Korea Classification Society	Registro Italiano Navale
CNRIN	Biro Klasifikasi Indonesia	Registrul Naval Roman
China Corporation Register	Korean Register of Shipping	Rihane Portuguesa
Croatian Register of Shipping	Korean Ship Safety Technology	Russian River Register
Cyprus Bureau of Shipping	Lloyd's Register	Russian Maritime Register
R J Del Pan	Maritime Bureau of Shipping	Sing-Lloyd
Dromon Bureau of Shipping	Macosnar Corp	Turk Lloydu
Deutsche Schiffs-Revision	Maritime Lloyd Georgia	Ukraine Shipping Register
Germanischer Lloyd	Maritime Technical Systems	Union Bureau of Shipping
Global Marine Bureau	Ships Classification Malaysia	Universal Maritime Bureau
Hellenic Register of Shipping	National Shipping Adjuster	Unknown
HORINSIB	Nippon Kaiji Kyokai	Universal Shipping Bureau
Isthmus Bureau of Shipping	Det Norske Veritas	Vietnam Register
INCLAMAR	Overseas Marine Certification	Zianlian Chuen
Isthmus Maritime Classification	Panama Bureau of Shipping	Joson Classification Society

Σημειώνεται ότι τα πλοία του πρώην ‘East German Register’ βρίσκονται στη βάση δεδομένων της Sea-Web και θεωρούνται κλάσης ‘Germanischer Lloyds’.

Είναι αξιοσημείωτο ότι μεγάλο τμήμα των πλοίων βρέθηκε ότι ανήκει στην κατηγορία ‘Class Unknown’, δηλαδή η κλάση τους είναι άγνωστη. Χαρακτηριστικό είναι το επόμενο σχήμα.



Σχήμα 2.2: Αριθμός πλοίων τύπου Γ/Φ ανά έτος με χαρακτηρισμούς ‘Class Known’ και ‘Class Unknown’.

Από το παραπάνω σχήμα εξάγεται το συμπέρασμα πως μέχρι το 1980 ο αριθμός των πλοίων τύπου Γ/Φ ‘αγνώστου κλάσεως’ ήταν μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο ‘γνωστής κλάσης’. Από τις αρχές του 1980 και μετά ο αριθμός των πλοίων με γνωστή κλάση αυξάνεται αισθητά και ο αριθμός πλοίων με άγνωστη κλάση μειώνεται ραγδαία. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι μέχρι και τις αρχές του 1980 οι πλοιοκτήτες δεν είχαν προτίμηση για κάποιο από τους Νηογνώμονες της παραπάνω λίστας με συνέπεια, όπως παρατηρείται και από την κατανομή των 2 ομάδων να υπάρχει μια μεταφορά πλοίων από την ομάδα ‘Class Unknown’ σε αυτή του ‘Class Known’ για την περίοδο από το 1980 και ύστερα.

Είναι φανερό ότι η βάση δεδομένων περιέχει και πλοία κατασκευής πριν το 1980. Οι κανονισμοί του IMO αλλά και οι κανονισμοί των Νηογνώμωνων υπόκεινται σε συνεχείς βελτιώσεις, για παράδειγμα υπάρχει πλέον απαίτηση υπολογισμού ευστάθειας μετά από βλάβη (damage stability calculation) για τα πλοία dry cargo που τέθηκαν σε λειτουργία από το 1992.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρείται σε πρώτο στάδιο μια ανάλυση των ιστορικών δεδομένων που μπορεί να αποτελέσει βάση για την εφαρμογή της FSA (Formal Safety Assessment). Η FSA έχει, ως γνωστόν, στόχο την αναγνώριση ατελειών στον τομέα της ασφάλειας του πλοίου και τη σύσταση αποδοτικών προτάσεων-μέτρων με σκοπό τη μείωση του ρίσκου τόσο χαμηλά ώστε να είναι αποδεκτό. Για τη βάση μιας FSA απαιτείται ένα

σωστά ορισμένο και ομογενές γκρουπ πλοίων προς μελέτη. Στην κατεύθυνση αυτή έγιναν οι παρακάτω επιλογές:

- Λόγω των περιορισμένων δεδομένων σχετικά με ελέγχους και κανονισμούς κτίσης, αλλά και λόγω του μεγάλου αριθμού πλοίων με άγνωστη κλάση, αποκλείστηκαν τα πλοία που κτίστηκαν πριν το 1985.
- Όλα τα πλοία που είναι μεγέθους μικρότερου των 500 κόρων αποκλείστηκαν από την ανάλυση μας διότι η ολοκληρωμένη SOLAS απαιτείται για πλοία μεγέθους μεγαλύτερου ή ίσου των 500 κόρων.
- Επειδή ο αριθμός των πλοίων με άγνωστη κλάση είναι σε συνεχή πτωτική πορεία από το 1985 και μετά, αποφασίστηκε τα πλοία αυτά να μην εξαιρεθούν από την ανάλυσή μας.
- Από τις κατηγορίες πλοίων τύπου Γ/Φ παρατηρήθηκε ότι το 96% περίπου ανήκει στην κατηγορία A31A2GX. Για το λόγο αυτό τα πλοία των κατηγοριών A31A2GA, A31A2GO, A31A2GT, A31B2GP και A31C2GD να μη συμπεριληφθούν στην ανάλυση.

Αναλυτικά, η δομή της βάσης δεδομένων της Sea-Web και η διαδικασία εισαγωγής των κριτηρίων όπως αυτά αποφασίστηκαν περιγράφεται στο Παράρτημα Α, με χαρακτηριστικές εικόνες.

## 2.3 Αναφορές Ατυχημάτων

Ο αριθμός των ατυχημάτων καθορίστηκε χρησιμοποιώντας τη βάση δεδομένων της Sea-Web. Τα ατυχήματα αφορούν ‘σοβάρές’ περιπτώσεις και πλοία όλων των κλάσεων. Λόγω έλλειψης πρόσβασης σε άλλες βάσεις δεδομένων δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί μια σύγκριση ώστε να αποσαφηνιστεί το επίπεδο πληρότητας της Sea-Web.

Αρχικά, όσον αφορά στις διάφορες κατηγορίες πλοίων τύπου Γ/Φ βρέθηκαν τα εξής στοιχεία για αναφορές ατυχημάτων από τη βάση δεδομένων της Sea-Web.

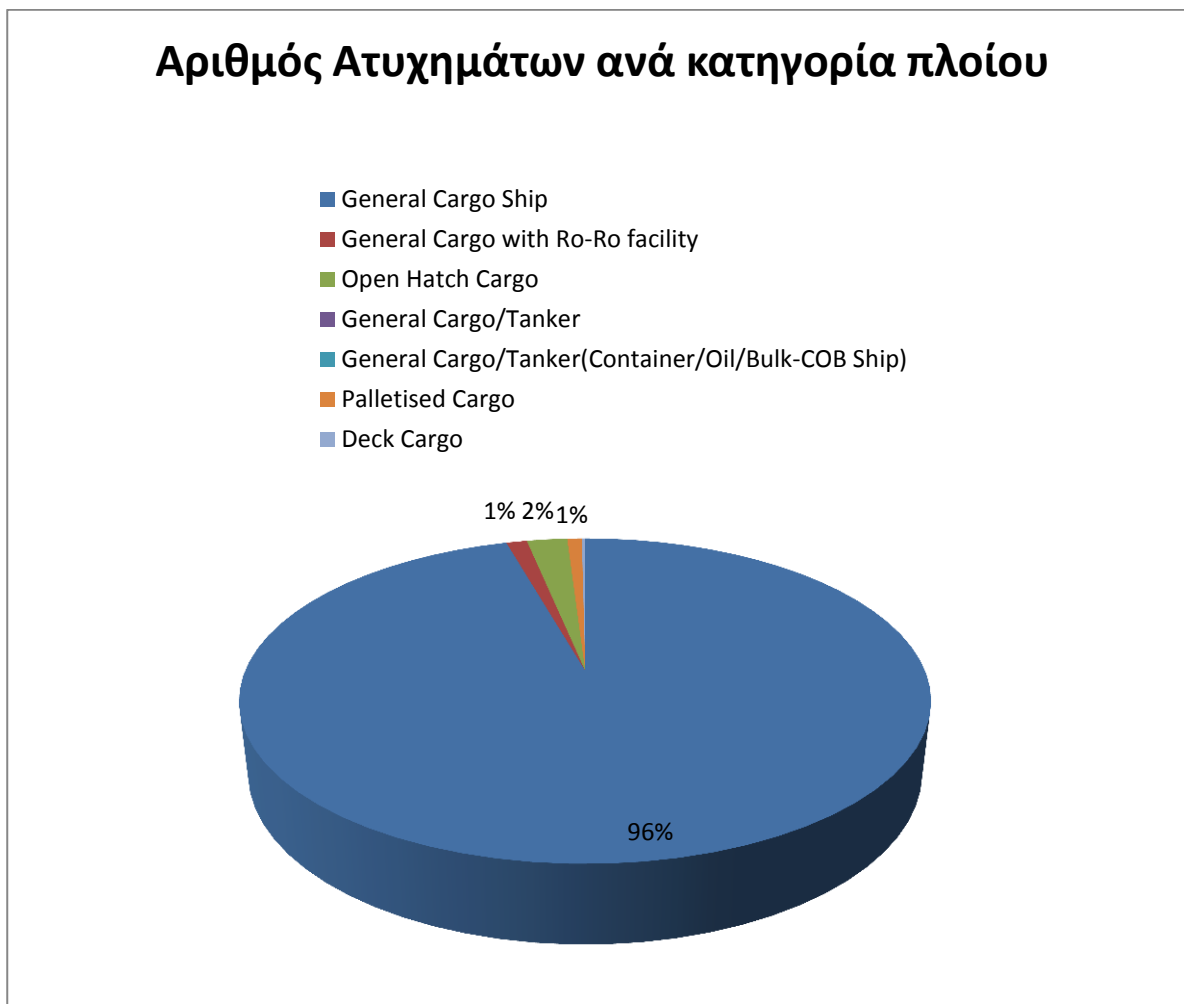
**Πίνακας 2.2:** Αριθμός αναφορών ατυχημάτων για κάθε κατηγορία πλοίων τύπου Γ/Φ, με GT>499 και για την περίοδο 01/01-1995-31/12-2010.

Type of Ship	Number of Reports	% of Total
General Cargo Ship	1992	95,58
General Cargo with Ro-Ro facility	24	1,15
Open Hatch Cargo	47	2,26
General Cargo/Tanker	0	0,00
General Cargo/Tanker(Container/Oil/Bulk-COB Ship)	0	0,00
Palletised Cargo	17	0,82
Deck Cargo	4	0,19
Total	2084	100



Παρατηρούμε πως επιβεβαιώνεται το γεγονός ότι η μεγάλη πλειοψηφία των ατυχημάτων αφορά σε General Cargo Ships,για αυτό και όλη η στατιστική ανάλυση που θα ακολουθήσει αφορά αυτόν τον τύπο πλοίου.Στο εξής όπου γράφεται πλοίο τύπου Γ/Φ θα εννοείται General Cargo Ship.

Γραφικά τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα αναπαρίστανται με το επόμενο σχήμα.



**Σχήμα 2.3:** Ποσοστιαία κατανομή ατυχημάτων για τους διάφορους τύπους πλοίων τύπου Γ/Φ με GT>499κόρους,για την περίοδο 01/01/1995-31/12-2010.

Στη συνέχεια παρατίθενται στοιχεία ταξινόμησης των περιπτώσεων ατυχημάτων που βρέθηκαν από τη Sea-Web,με βάση:

- 1<sup>ον</sup>) το μέγεθος του πλοίου
- 2<sup>ον</sup>) τον τύπο του ατυχήματος
- 3<sup>ον</sup>) την τοποθεσία του ατυχήματος

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει το συνολικό αριθμό ατυχημάτων που βρέθηκαν για κάθε μία από τις κατηγορίες πλοίων τύπου Γ/Φ όπως αυτές ορίστηκαν νωρίτερα,με βάση το μέγεθος του πλοίου.Έχουμε λοιπόν:

**Πίνακας 2.3:** Αριθμός ατυχημάτων για την κάθε κατηγορία μεγέθους για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010.

<b><math>500 \leq GT \leq 1000</math></b>	<b><math>1000 &lt; GT \leq 20000</math></b>	<b><math>GT &gt; 20000</math></b>
102	1831	59



**Σχήμα 2.4:** Γραφική αναπαράσταση της ποσοστιαίας κατανομής των ατυχημάτων πλοίων τύπου Γ/Φ με βάση το GT, για την περίοδο 01/01/1995-31/12-2010.

Παρατηρούμε ότι για τη μεσαία κατηγορία, δηλαδή για πλοία μεγέθους  $1000 \leq GT < 20000$  κόρων, ο αριθμός των ατυχημάτων είναι σημαντικά μεγαλύτερος από αυτόν των άλλων κατηγοριών. Αυτό το στοιχείο εξηγείται εύκολα από το γεγονός ότι και οι αντίστοιχοι στόλοι των τριών αυτών κατηγοριών εμφανίζουν παρόμοιες διαφορές. Αυτό θα γίνει άμεσα αντιληπτό στη συνέχεια όταν και θα παρουσιαστούν αναλυτικά στοιχεία των στόλων της υπό μελέτη περιόδου.

Τα είδη των ατυχημάτων που μπορούν να αναζητηθούν μέσω της βάσης δεδομένων της Sea-Web είναι τα παρακάτω:

- ❖ Collision
- ❖ Contact
- ❖ Foundered
- ❖ Fire/Explosion
- ❖ Hull/Machinery Damage
- ❖ War Loss/Hostilities
- ❖ Missing

- ❖ Wrecked/Stranded
- ❖ Miscellaneous

Από τα παραπάνω είδη ατυχημάτος εξαιρέθηκαν αυτά που οφείλονται σε πόλεμο/εχθροπραξίες γιατί δεν υπάρχει κάποια χρήσιμη πληροφορία που μπορεί να εξαχθεί από αυτές τις λίγες μεμονωμένες περιπτώσεις.

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να δοθεί ένας ορισμός της κατάστασης που αντιπροσωπεύει ο καθένας από τους παραπάνω τύπους ατυχημάτων.

#### ✚ Σύγκρουση (Collision)

Ατυχήματα σύγκρουσης είναι αυτά στα οποία υπήρξε ανεπάντεχη επαφή μεταξύ δύο πλοίων. Στην κατηγορία αυτή το πλοίο τύπο Γ/Φ χτυπά ένα άλλο ή το αντίστροφο, δηλαδή δέχεται το χτύπημα.

#### ✚ Επαφή (Contact)

Ατυχήματα επαφής είναι αυτά στα οποία το πλοίο ήρθε σε επαφή με σταθερά ή επιπλέοντα ατυχήματα.

#### ✚ Ημιβύθιση/Βύθιση (Foundered)

Ατυχήματα βύθισης είναι αυτά που οδηγούν σε βύθιση του πλοίου.

#### ✚ Φωτιά/Έκρηξη (Fire/Explosion)

Ατυχήματα φωτιάς/έκρηξης είναι αυτά στα οποία το κύριο-πρωταρχικό γεγονός (main event) ήταν φωτιά/έκρηξη.

#### ✚ Αστογία Γάστρας/Μηχανική Βλάβη (Hull/Machinery Damage)

Ατυχήματα αστοχίας της γάστρας είναι αυτά στα οποία παρουσιάστηκε ρήγμα/ρωγμή στη γάστρα του πλοίου με άμεση συνέπεια στην πλευστότητα και την ακεραιότητα του περιβλήματος.

Ατυχήματα μηχανικής βλάβης είναι αυτά στα οποία το κύριο/πρωταρχικό γεγονός είναι βλάβη σε κάποιο εξάρτημα της κύριας μηχανής, κάποιας αντλίας. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται και βλάβες του πηδαλίου.

#### ✚ Προσάραξη (Wrecked/Stranded)

Είναι τα ατυχήματα όπου το πλοίο είτε λόγω προσάραξης είτε λόγω κακοκαιρίας έμεινε ακινητοποιημένο κάπου.

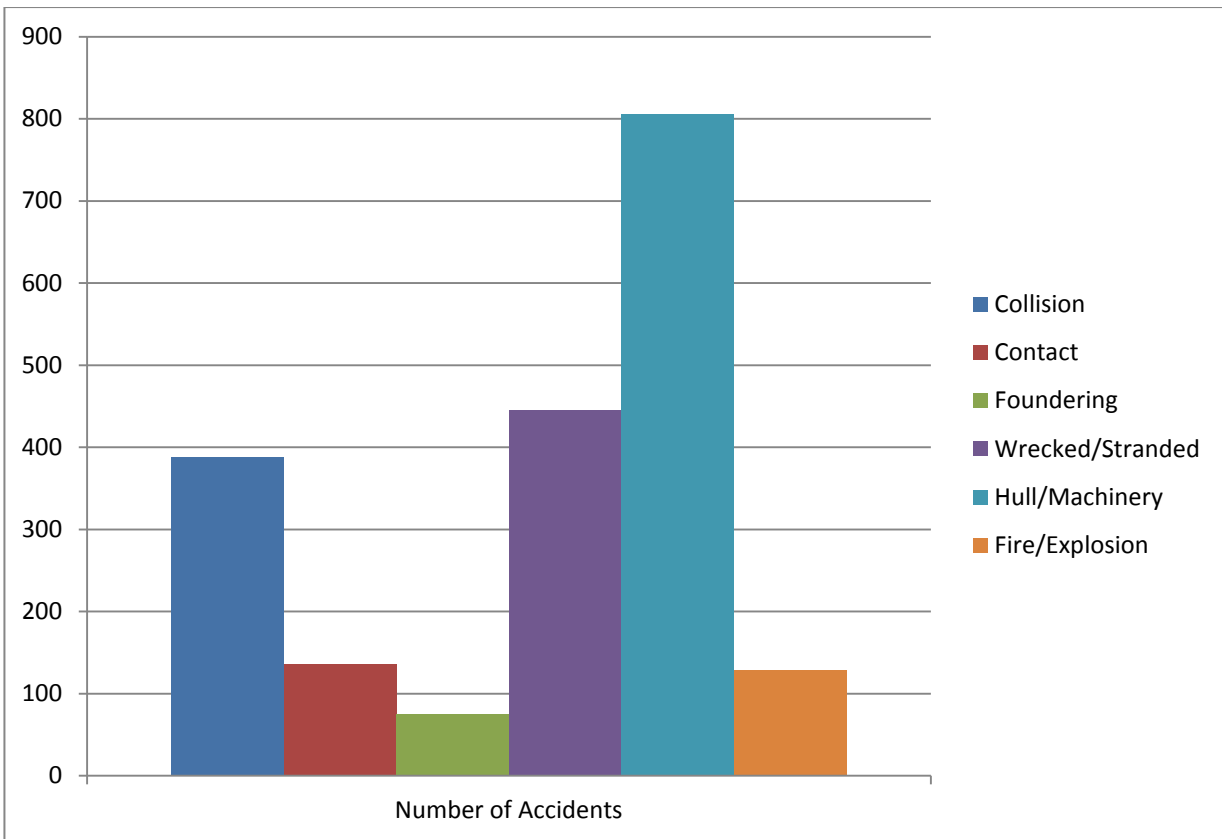
#### ✚ Υπόλοιπα (Miscellaneous)

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται ατυχήματα που δεν μπορούν να ενταχθούν σε κάποια από τις παραπάνω κατηγορίες.

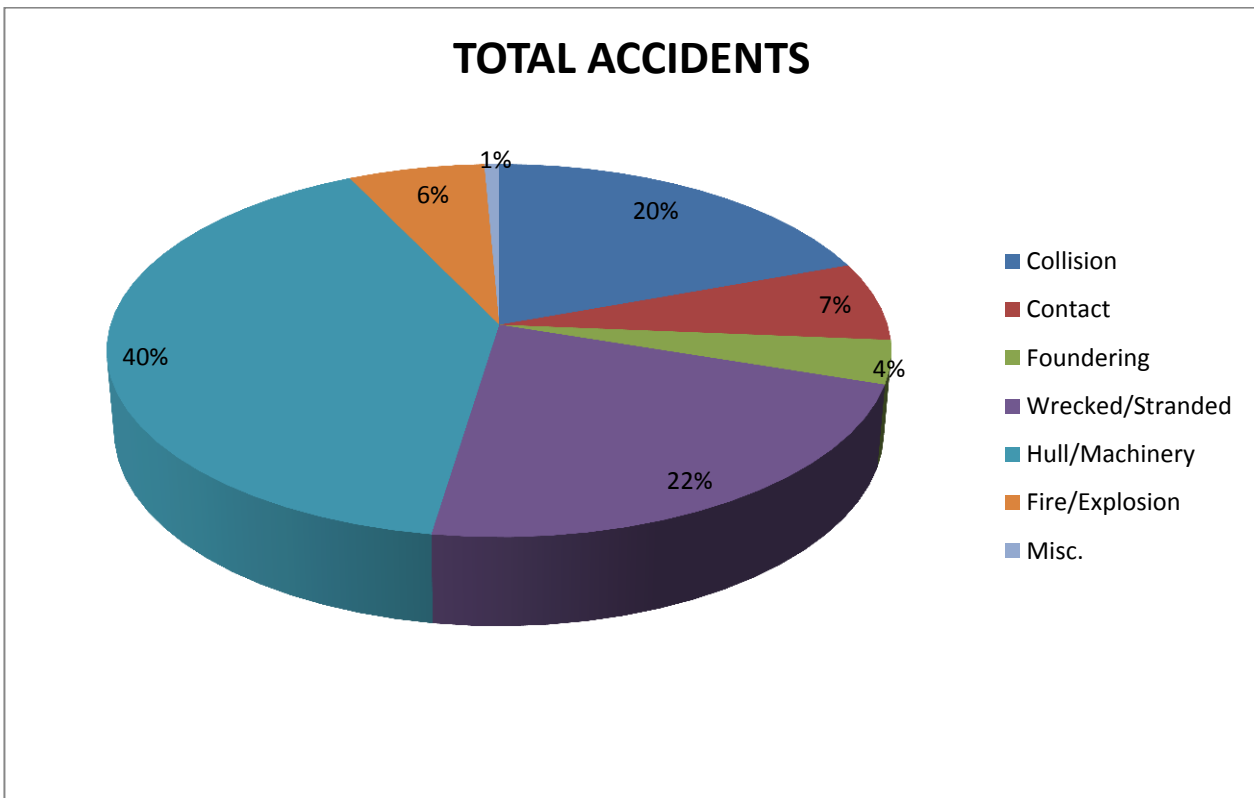
Αρχικά, παρουσιάζεται μια πρώτη εικόνα για το αριθμητικό μέγεθος της κάθε κατηγορίας ατυχημάτος για την περίοδο που εξετάστηκε. Συγκεκριμένα από τα ιστορικά στοιχεία που βρέθηκαν στη βάση δεδομένων της Sea-Web προκύπτουν τα εξής:

**Πίνακας 2.4:** Αριθμός ατυχημάτων ανά κατηγορία ατυχημάτος για πλοία τύπου Γ/Φ, GT>499κόρους και για τη περίοδο 01/01/1995-31/12/2010.

<b>Casualty Type</b>	<b>Number of Accidents</b>	<b>% of Total</b>
Collision	388	19,48
Contact	136	6,83
Foundering	75	3,77
Wrecked/Stranded	445	22,34
Hull/Machinery Damage	806	40,46
Fire/Explosion	128	6,43
Miscellaneous	14	0,7
<b>Total</b>	<b>1992</b>	<b>100</b>



Σχήμα 2.5: Γραφική αναπαράσταση του αριθμού των ατυχημάτων για τον κάθε τύπο ατυχήματος, για την περίοδο 01/01/1995-31/12-2010.



Σχήμα 2.6: Γραφική αναπαράσταση της ποσοστιαίας κατανομής του συνολικού αριθμού των ατυχημάτων στις διάφορες κατηγορίες ατυχημάτων.

Στη συνέχεια, με τη βοήθεια του **Marsdens Grid** παρουσιάζονται οι 5 πιο ‘επίφοβες’ περιοχές για κάθε τύπο ατυχήματος, δηλαδή αυτές που συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο αριθμό επί των ατυχημάτων της κάθε κατηγορίας. Πρώτα όμως, αξίζει να αναφέρουμε ορισμένα στοιχεία περί Marsdens Grid.

Η χαρτογράφηση με το Marsdens Grid είναι ένα σύστημα που χωρίζει ένα παγκόσμιο χάρτη με κατακόρυφες και οριζόντιες γραμμές πλέγματος που συμβολίζουν γεωγραφικά μήκη και πλάτη αντίστοιχα. Οι διαμερίσεις γίνονται ανά  $10^{\circ}$ . Έτσι δημιουργούνται κελιά με μέγεθος  $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ , το καθένα μοναδικό σε σχέση με τα υπόλοιπα.

Υπάρχουν δύο τρόποι προβολής. Με τον πρώτο τα κελιά εμφανίζονται ως τετράγωνα (plate carree projection), ενώ με το δεύτερο τα κελιά εμφανίζονται ‘τενωμένα’ κατά την κατακόρυφο, κοντά στο πάνω και το κάτω τμήμα του χάρτη (Mercator projection). Στην πραγματικότητα, τα κελιά είναι τετραγωνικής μορφής μόνο κοντά στον Ισημερινό, και όσο πλησιάζουμε προς τους πόλους, αυτά γίνονται στενότερα και πιο κωνικά. Στην περιοχή των πόλων πλέον μπορούμε να πούμε ότι πλέον υπάρχουν τρεις πλευρές και όχι τέσσερις.

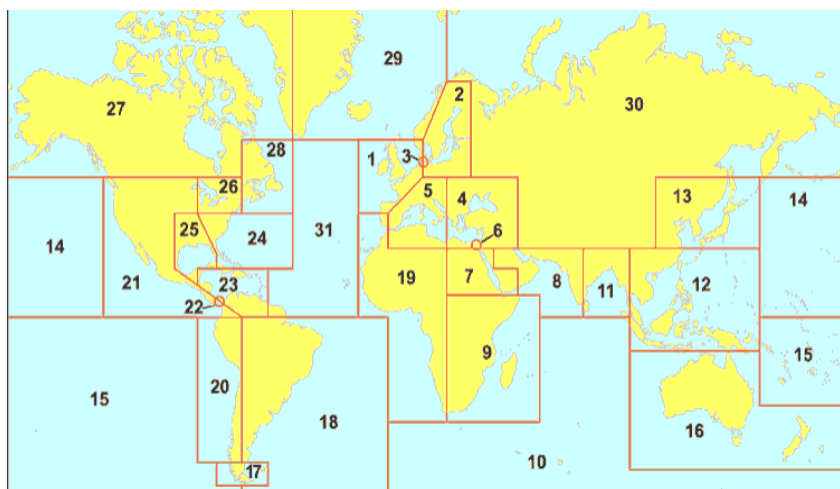
Κάθε ένα από τα 540 τετράγωνα που προκύπτουν από την παραπάνω διαμέριση, λαμβάνουν ένα χαρακτηριστικό αριθμό από το 1 έως το 288 και από το 300 ως το 551. Καμιά φορά χρησιμοποιούνται υποδιαίρεσεις της  $1^{\circ}$ , από το 00 ως το 99, για μεγαλύτερη ακρίβεια.

Τα τετράγωνα Marsdens χρησιμοποιούνται συνήθως για την ταυτοποίηση μετεωρολογικών στοιχείων και περιγράφονται εκτενώς σε ποικίλες δημοσιεύσεις του Διεθνούς Οργανισμού Μετεωρολογίας (WMO). Ο χαρακτηρισμός των τετραγώνων με αριθμούς μεθόδους 1-3 ψηφίων προσφέρει ένα λειτουργικό πλεονέκτημα για χαμηλόσυχνα συστήματα διαβίβασης. Ωστόσο, επειδή ο καταμερισμός των αριθμών δεν ακολουθεί κάποιο συγκεκριμένο μοτίβο η αποκωδικοποίηση δεν είναι απλή, γι’ αυτό η καλύτερη λύση είναι η χρήση ενός πίνακα αναζήτησης.

Υπάρχει και μια δεύτερη μορφή κωδικοποίησης των τετραγώνων του πλέγματος με 4 ψηφία. Αυτή η μέθοδος όμως, δε λαμβάνει υποστήριξη ούτε από τον ίδιο το WMO που την πρότεινε αρχικά.

Ακολουθούν οι χάρτες Marsdens Grid αρχικά για το σύνολο και στη συνέχεια για τις διάφορες κατηγορίες ατυχημάτων.

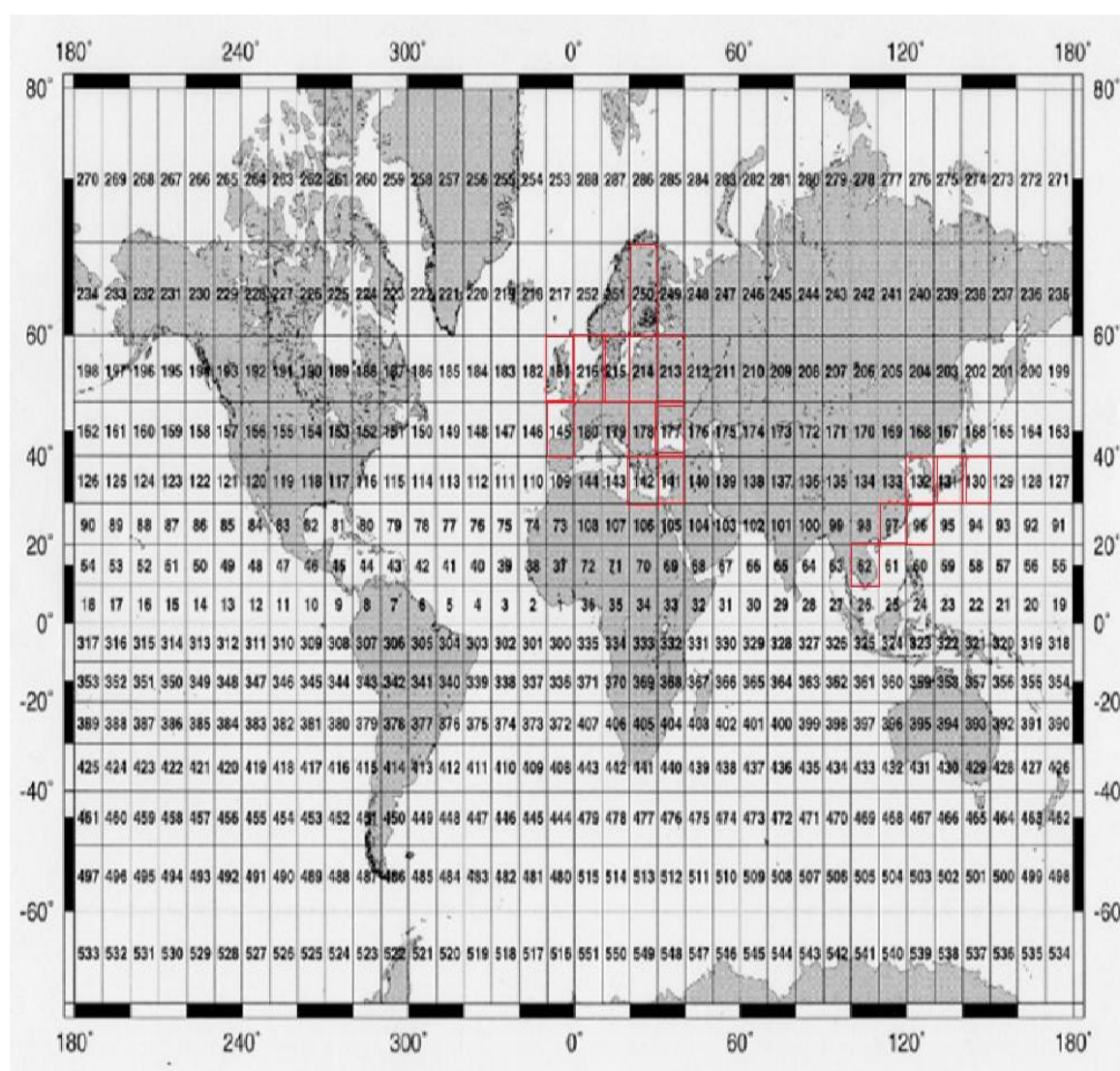
Όμως πρώτα πρέπει να αναφερθεί ότι στη βάση δεδομένων της Sea-Web, εκτός από τον διαχωρισμό του παγκόσμιου χάρτη σε grdis, δηλαδή σε τετράγωνα, γίνεται και διαχωρισμός σε γεωγραφικές ζώνες με βάση το παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.7: Διαχωρισμός του παγκόσμιου χάρτη σε γεωγραφικές ζώνες όπως αυτός δίνεται από τη βάση δεδομένων της Sea-Web.

**Πίνακας 2.5:** Γεωγραφικές ζώνες με τα περισσότερα ατυχήματα.

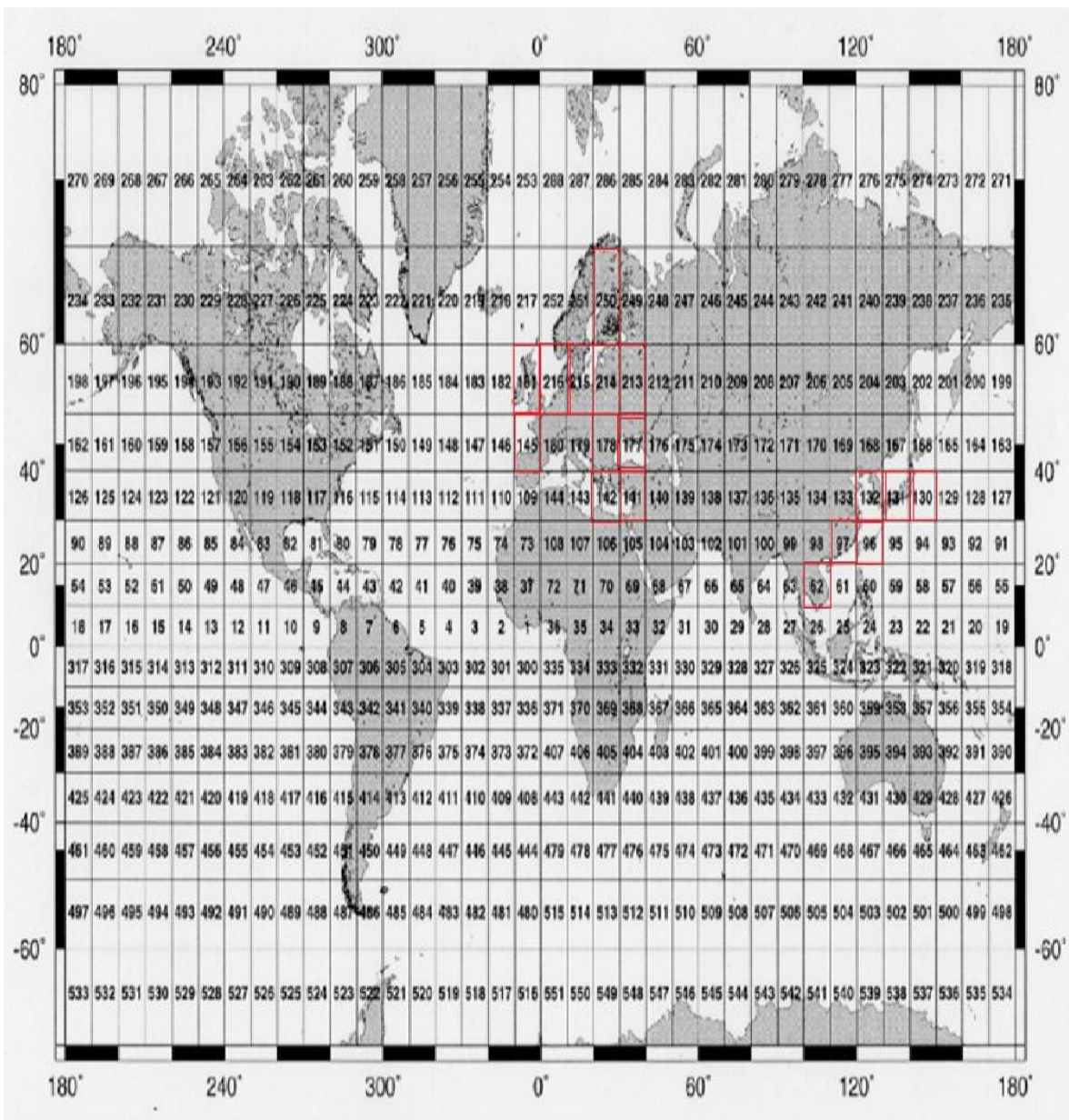
N of reports	Zone	Main Grids	% of total
202	Baltic	213,215,250	10,14%
584	Br.Isles,N.Sea,E.Chnl,Biscay	216,181,145	29,32%
250	China,Japan & Korea	131,130,132,096	12,55%
241	E.Meditarranean/Black Sea	141,142,177,178	12,10%
125	South China & East Indies	097,096,062	6,28%



**Σχήμα 2.8:** Οι πιο συχνές περιοχές ατυχημάτων (πλοία Γ/Φ με GT>499, περίοδος 01/01/1995-31/12/2010).

Πίνακας 2.6: Ατυχήματα τύπου Collision

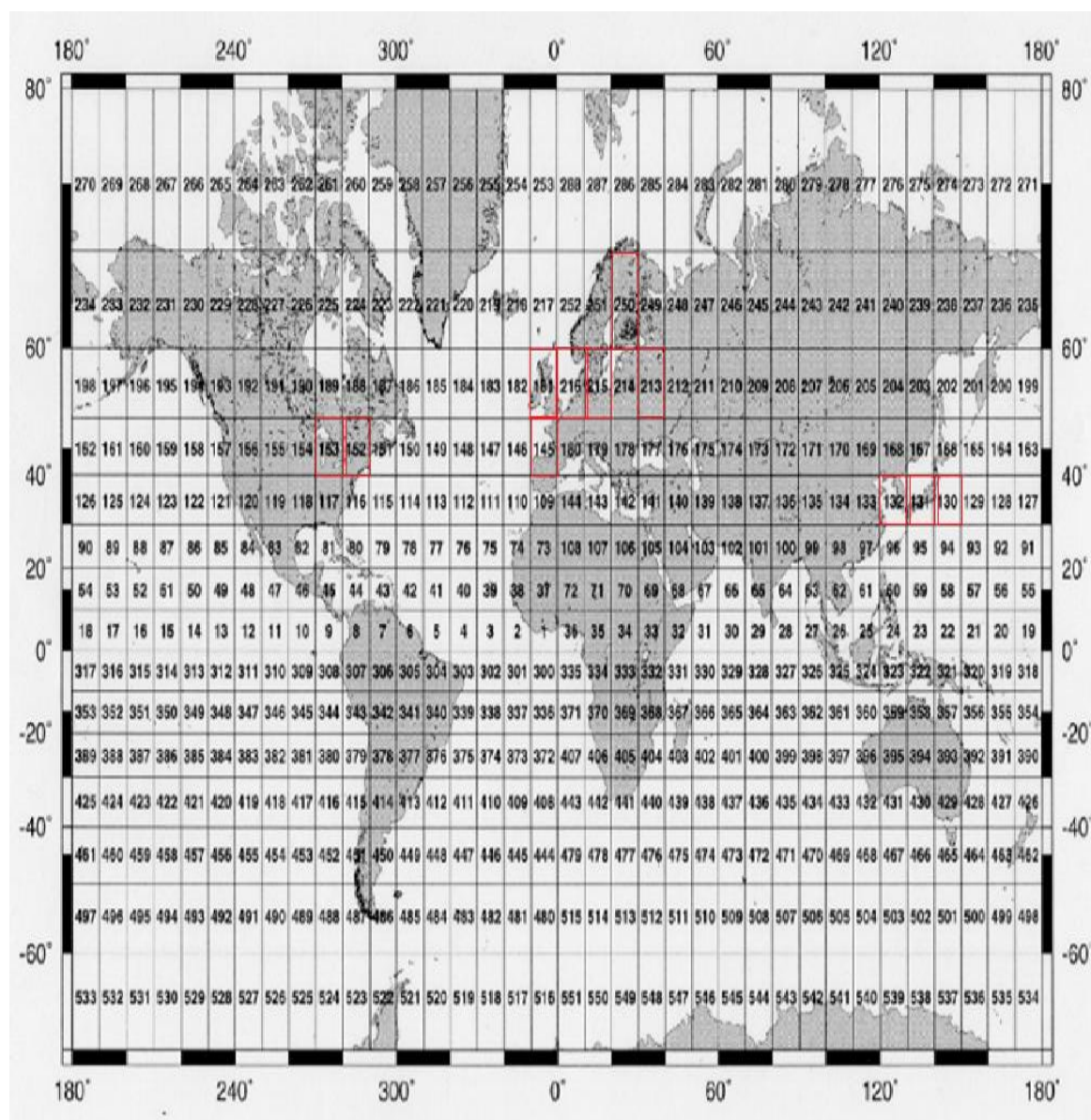
N of reports	Zone	Main Grids	% of total
30	Baltic	213,215,250	7,73%
69	Br.Isles,N.Sea,E.Chnl,Biscay	216,181,145	17,78%
117	China,Japan & Korea	131,130,132,096	30,15%
58	E.Meditarranean/Black Sea	141,142,177,178	14,95%
28	South China & East Indies	097,096,062	7,22%



Σχήμα 2.9: Οι πιο συχνές περιοχές ατυχημάτων τύπου Collision (πλοία Γ/Φ με GT>499, περίοδος 01/01/1995-31/12/2010).

Πίνακας 2.7: Ατυχήματα τύπου Contact.

N of reports	Zone	Main Grids	% of total
12	Baltic	213,215,250	9,38%
60	Br.Isles,N.Sea,E.Chnl,Biscay	216,181,145	46,88%
15	Great Lakes	152,153	11,72%
12	Kiel Canal	215,216	9,38%
7	China,Japan & Korea	131,130,132,096	5,47%

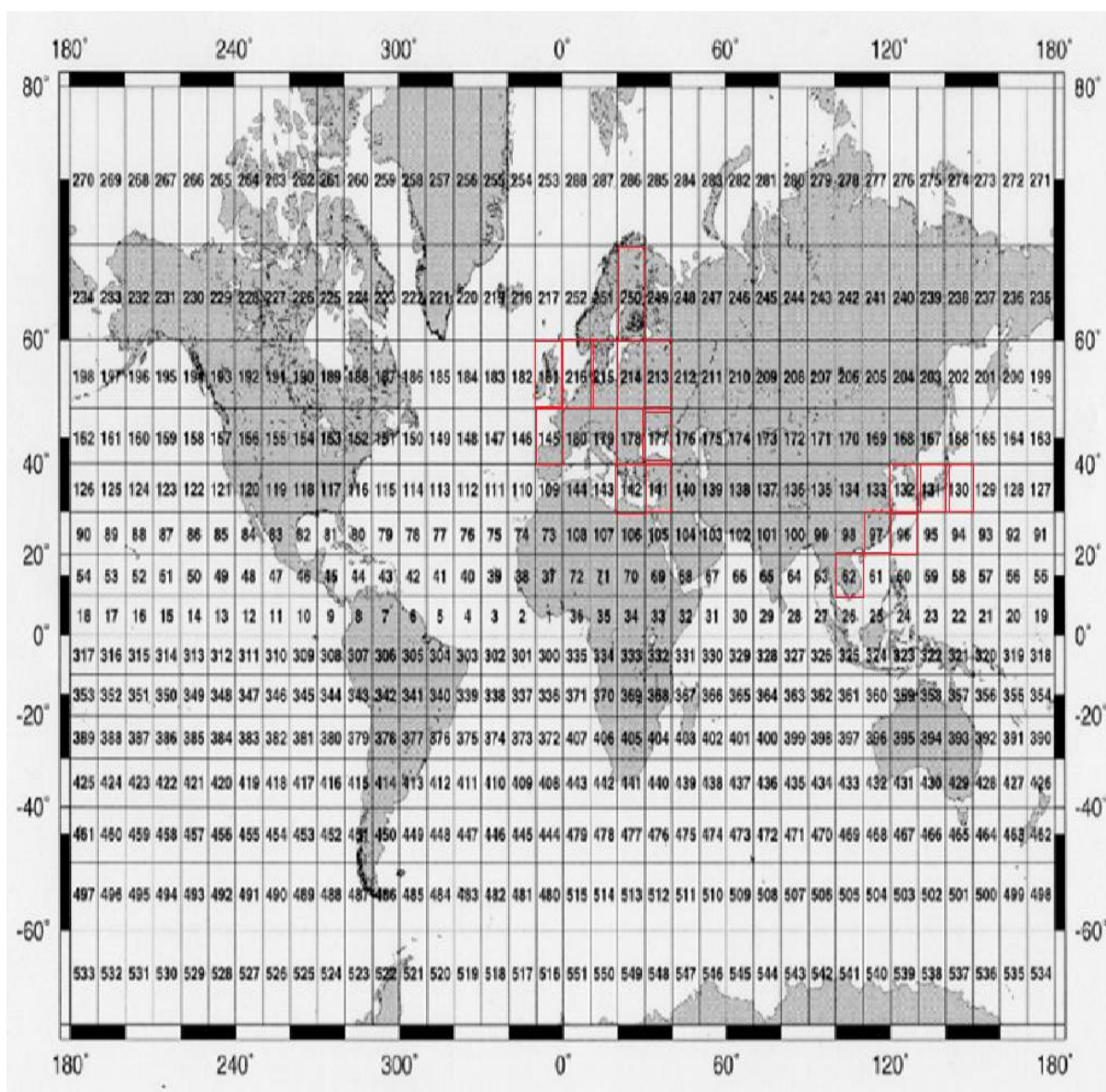


Σχήμα 2.10: Οι πιο συχνές περιοχές ατυχημάτων τύπου Contact (πλοία Γ/Φ με GT>499, περίοδος 01/01/1995-31/12-2010).



Πίνακας 2.8: Ατυχήματα τύπου Fire/Explosion.

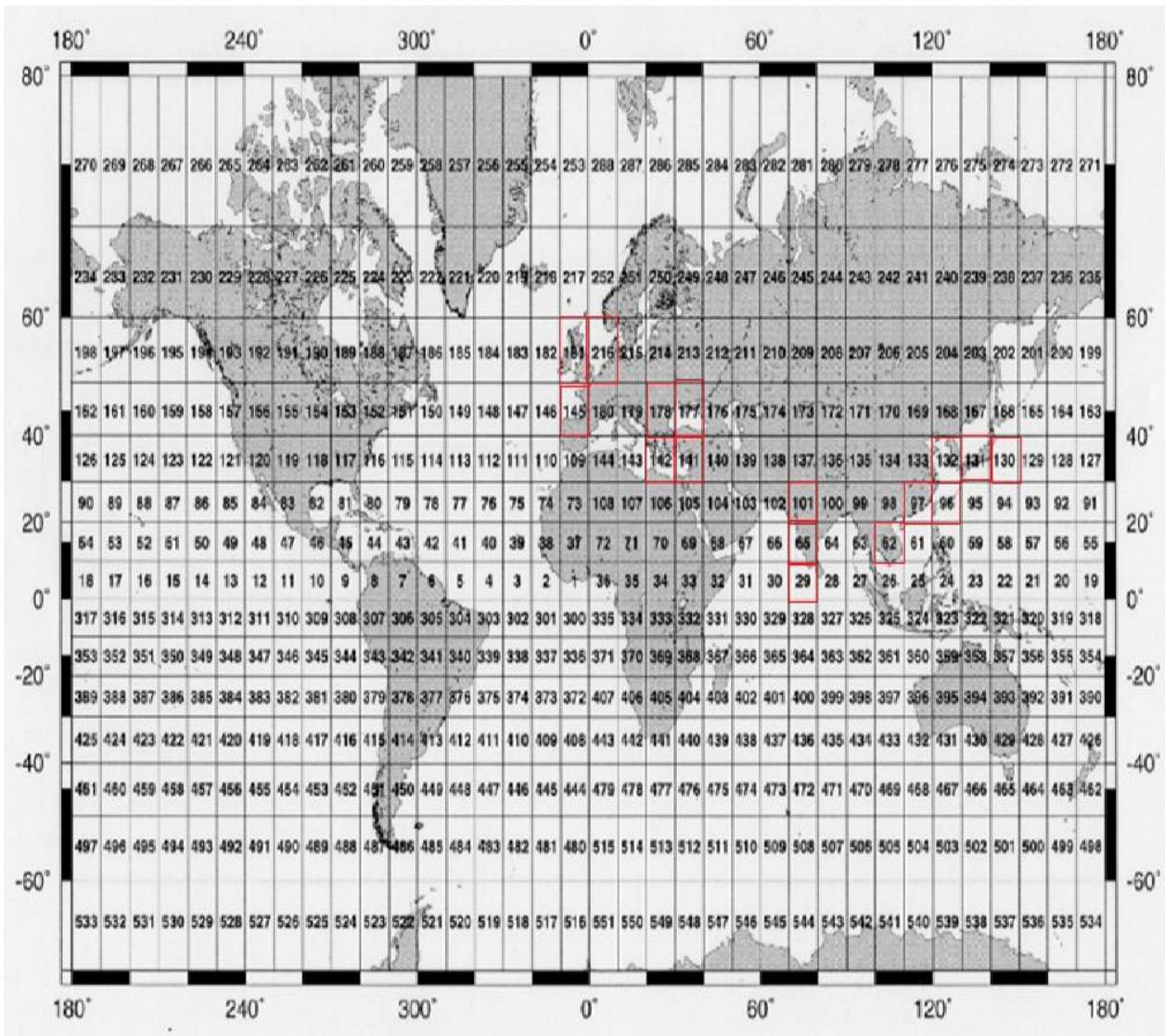
N of reports	Zone	Main Grids	% of total
11	Baltic	213,215,250	8,59%
38	Br.Isles,N.Sea,E.Chnl,Biscay	216,181,145	29,69%
12	China,Japan & Korea	131,130,132,096	9,38%
7	E.Meditarranean/Black Sea	141,142,177,178	5,47%
8	South China & East Indies	097,096,062	6,25%



Σχήμα 2.11: Οι πιο συχνές περιοχές ατυχημάτων τύπου Fire/Explosion (πλοία Γ/Φ με GT>499, περίοδος 01/01/1995-31/12-2010).

Πίνακας 2.9: Ατυχήματα τύπου Foundering.

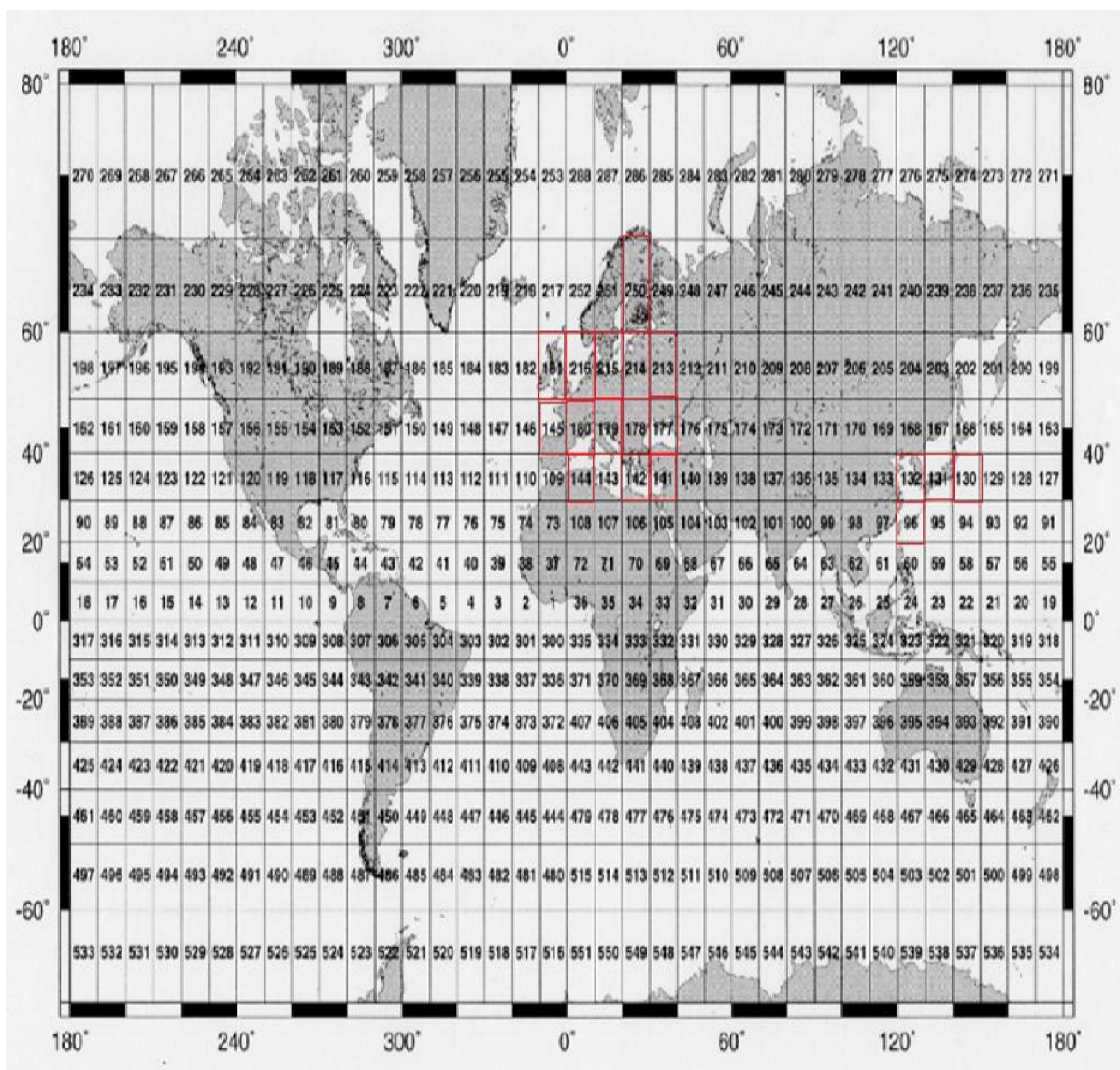
N of reports	Zone	Main Grids	% of total
8	Br. Isles, N. Sea, E. Chnl, Biscay	216,181,145	10,67%
11	China, Japan & Korea	132,130,131,096	14,67%
6	E. Mediterranean/Black Sea	178,142,141,177	8,00%
31	South China & East Indies	062,,096,097	41,33%
4	Gulf	101,065,029	5,33%



Σχήμα 2.12: Οι πιο συχνές περιοχές ατυχημάτων τύπου Foundering (πλοία Γ/Φ με GT>499, περίοδος 01/01/1995-31/12/2010).

Πίνακας 2.10: Ατυχήματα τύπου Hull/Machinery Damage.

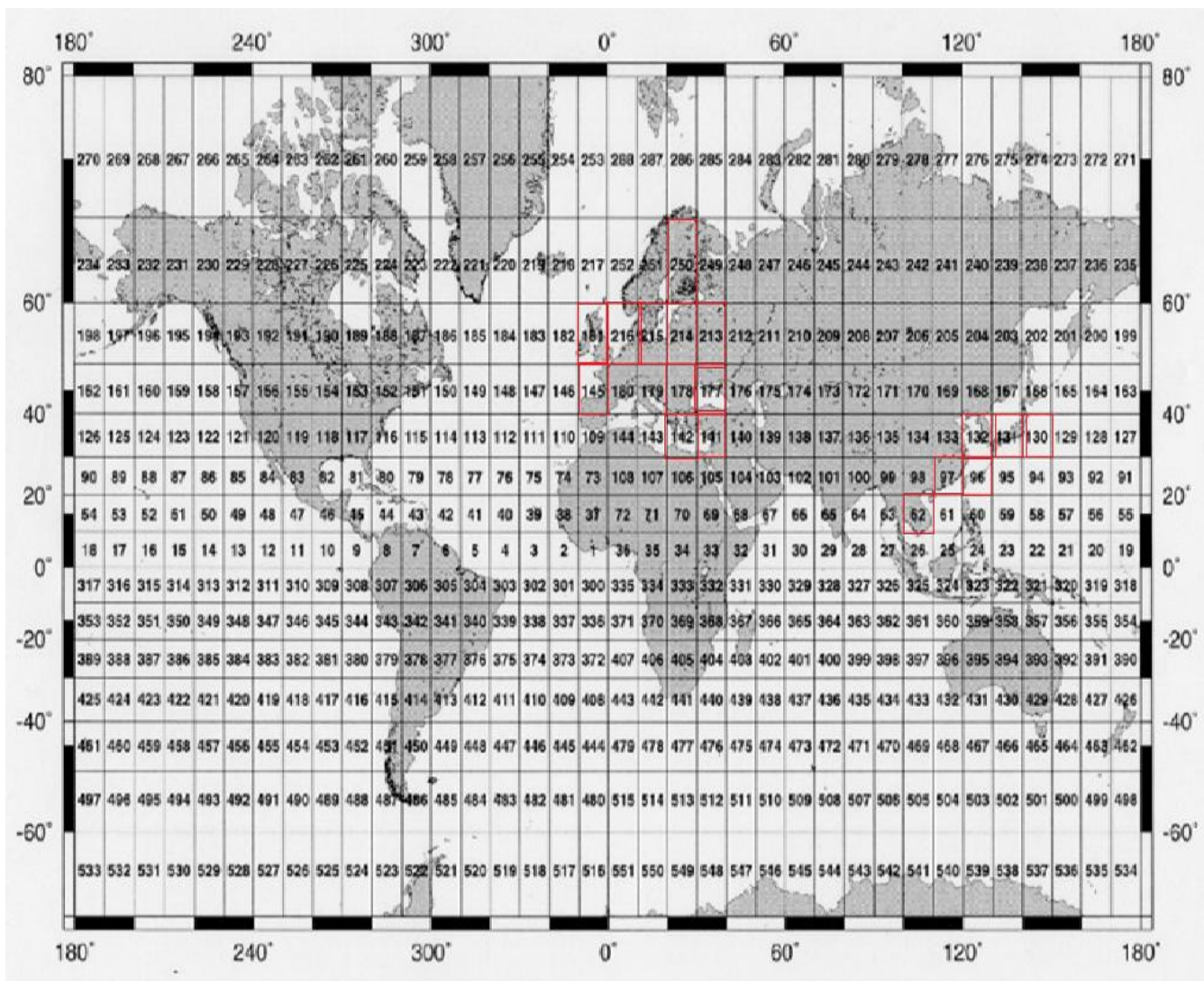
N of reports	Zone	Main Grids	% of total
53	Baltic	213,215,250	6,58%
332	Br.Isles,N.Sea,E.Chnl,Biscay	216,181,145	41,19%
49	China,Japan & Korea	131,130,132,096	6,08%
88	E.Meditarranean/Black Sea	141,142,177,178	10,92%
36	W.Meditarranean	144,180,179	4,47%



Σχήμα 2.13: Οι πιο συχνές περιοχές ατυχημάτων τύπου Hull/Machinery damage (πλοία Γ/Φ με GT>499, περίοδος 01/01/1995-31/12/2010).

Πίνακας 2.11: Ατυχήματα τύπου Wrecked/Stranded.

N of reports	Zone	Main Grids	% of total
94	Baltic	213,215,250	21,12%
60	Br.Isles,N.Sea,E.Chnl,Biscay	216,181,145	13,48%
52	China,Japan & Korea	131,130,132,096	11,69%
73	E.Meditarranean/Black Sea	141,142,177,178	16,40%
29	South China & East Indies	097,096,062	6,07%

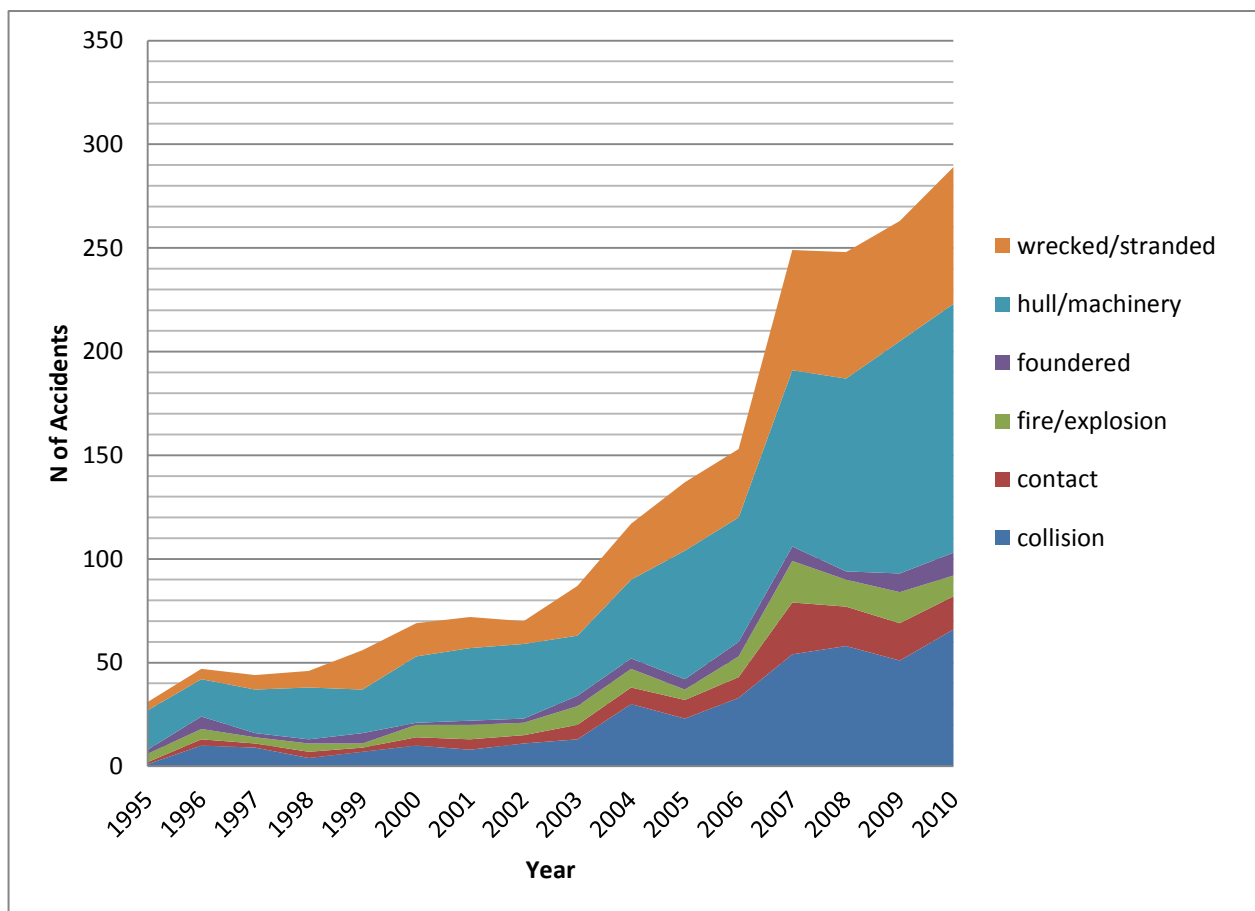


Σχήμα 2.14: Οι πιο συχνές περιοχές ατυχημάτων τύπου Wrecked/Stranded (πλοία Γ/Φ με GT>499, περίοδος 01/01/1995-31/12/2010).

Από τα παραπάνω σχήματα συμπεραίνουμε ότι η μεγάλη πλειοψηφία των ατυχημάτων λαμβάνουν χώρα στις ίδιες περίπου γεωγραφικές ζώνες ανεξάρτητα με τον τύπο του ατυχήματος. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι στις περιοχές αυτές εμφανίζεται η μεγαλύτερη κίνηση πλοίων, είναι δηλαδή τα πιο συχνά περάσματα που ακολουθούν τα πλοία στους τυποποιημένους πλέον πλόες που πραγματοποιούν.

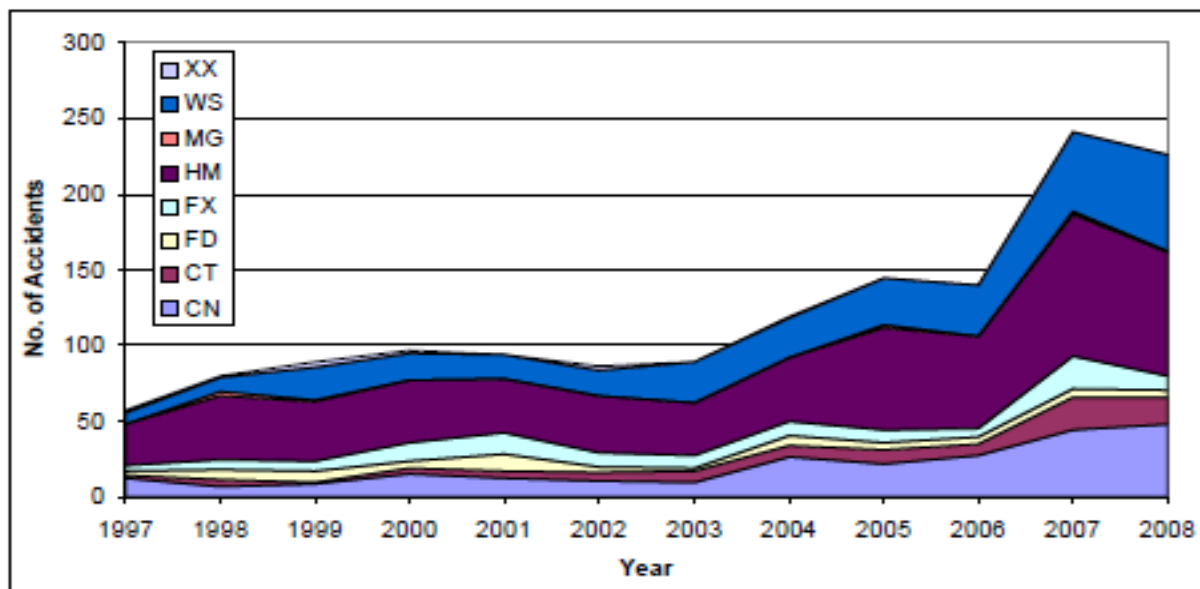
Το γεγονός αυτό όμως φέρνει στην επιφάνεια άλλα προβλήματα διότι η 'επικινδυνότητα' των συγκεκριμένων περιοχών θα έπρεπε να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη ώστε ο αριθμός των ατυχημάτων να μειωθεί, τουλάχιστον για τα ατυχήματα τύπου Collision και Contact που οφείλονται στην αλληλεπίδραση ενός πλοίου με ένα άλλο ή ένα επιπλέον αντικείμενο.

Ωστόσο, όπως φαίνεται και στο επόμενο διάγραμμα ο αριθμός των ατυχημάτων που αφορούν σε πλοία τύπου Γ/Φ αυξάνεται χρόνο με το χρόνο για την περίοδο που μελετάται. Αυτό έρχεται σε πλήρη αντίθεση με την τάση που εμφανίζει ο αριθμός των ατυχημάτων που αφορά σε Crude Oil Tankers με DWT>60000tons, ο οποίος τα τελευταία χρόνια είναι σημαντικά μειωμένος από το παρελθόν. Αυτό δεν μπορεί παρά να σχετίζεται με αυστηρότερα μέτρα και κανονισμούς που επιβλήθηκαν λόγω σοβαρών ατυχημάτων με περιβαλλοντικές και κοινωνικές συνέπειες. Κάτι ανάλογο ίσως να είναι αναγκαίο και στην περίπτωση των General Cargo.

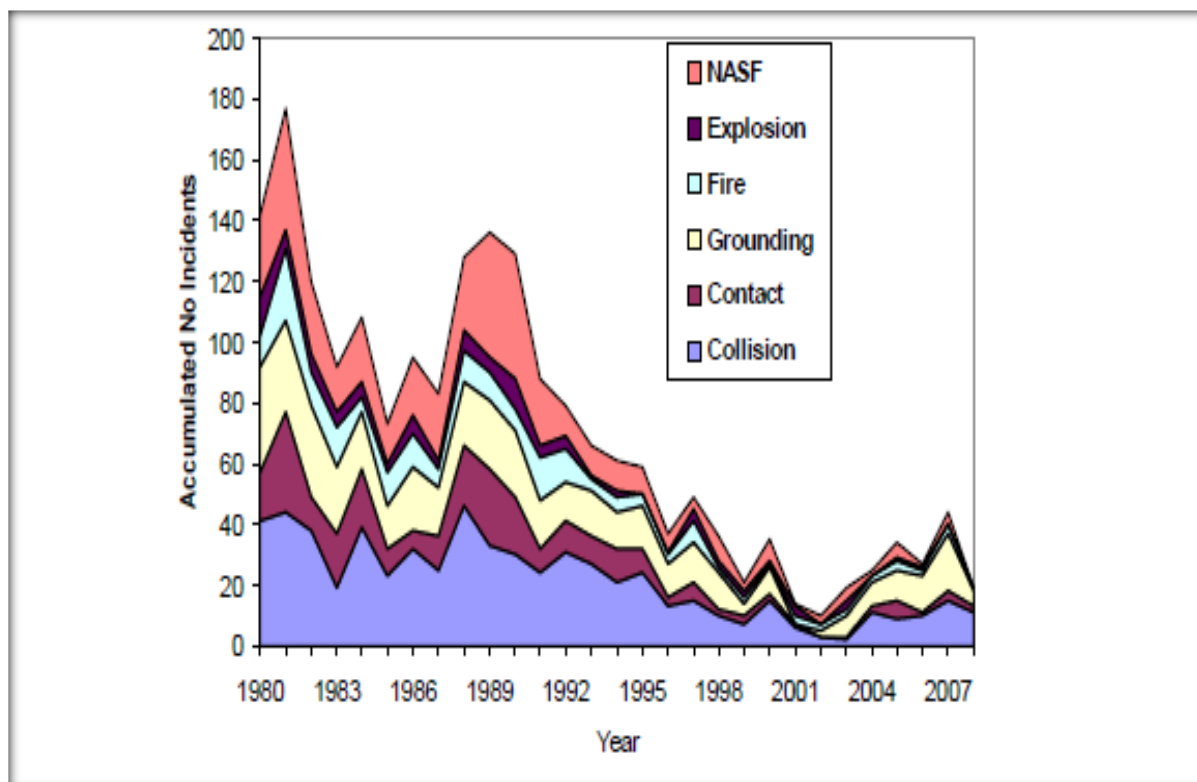


**Σχήμα 2.15:** Ετήσια μεταβολή του αριθμού ατυχημάτων για κάθε τύπο ατυχήματος (πλοία τύπου Γ/Φ με GT>499 κόρους και για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010).

Το σχήμα 2.15 είναι σε πλήρη συμφωνία με το αντίστοιχο που παράχθηκε για μελέτη του IACS για την ασφάλεια των πλοίων τύπου Γ/Φ και παρουσιάστηκε στην MSC87/Inf 3. και το οποίο φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



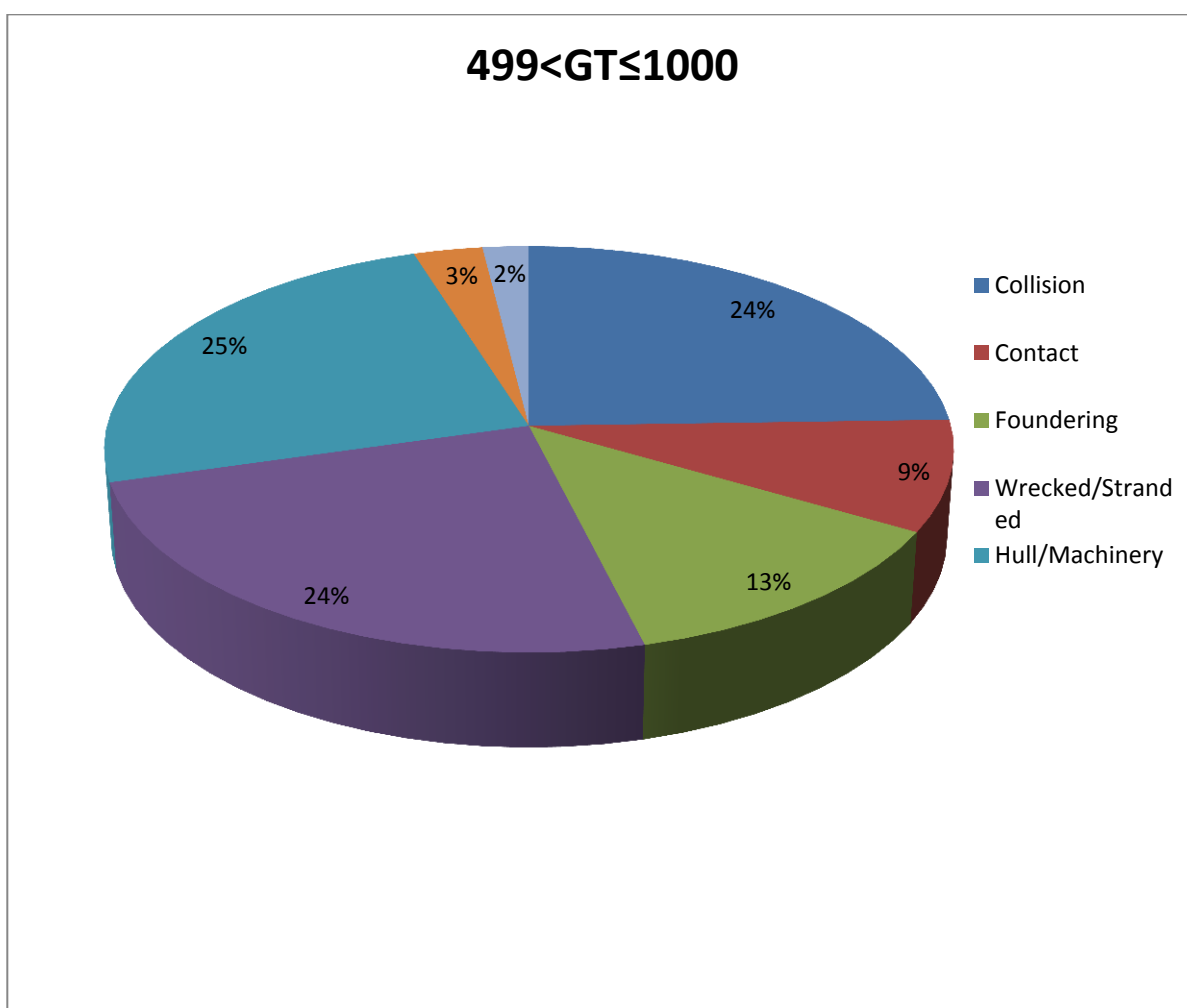
Σχήμα 2.16: Μεταβολή του αριθμού των ατυχημάτων για την περίοδο 1997-2008 όπως παρουσιάστηκε στη MSC87/Inf 3.



Σχήμα 2.17: Ετήσια μεταβολή του αριθμού ατυχημάτων για κάθε τύπο ατυχήματος (πλοία Crude Oil Carriers με DWT > 60000 tons).

Στη συνέχεια εξετάζεται ξεχωριστά κάθε μια από τις κατηγορίες μεγέθους όπως αυτές ορίστηκαν προωτέρα.

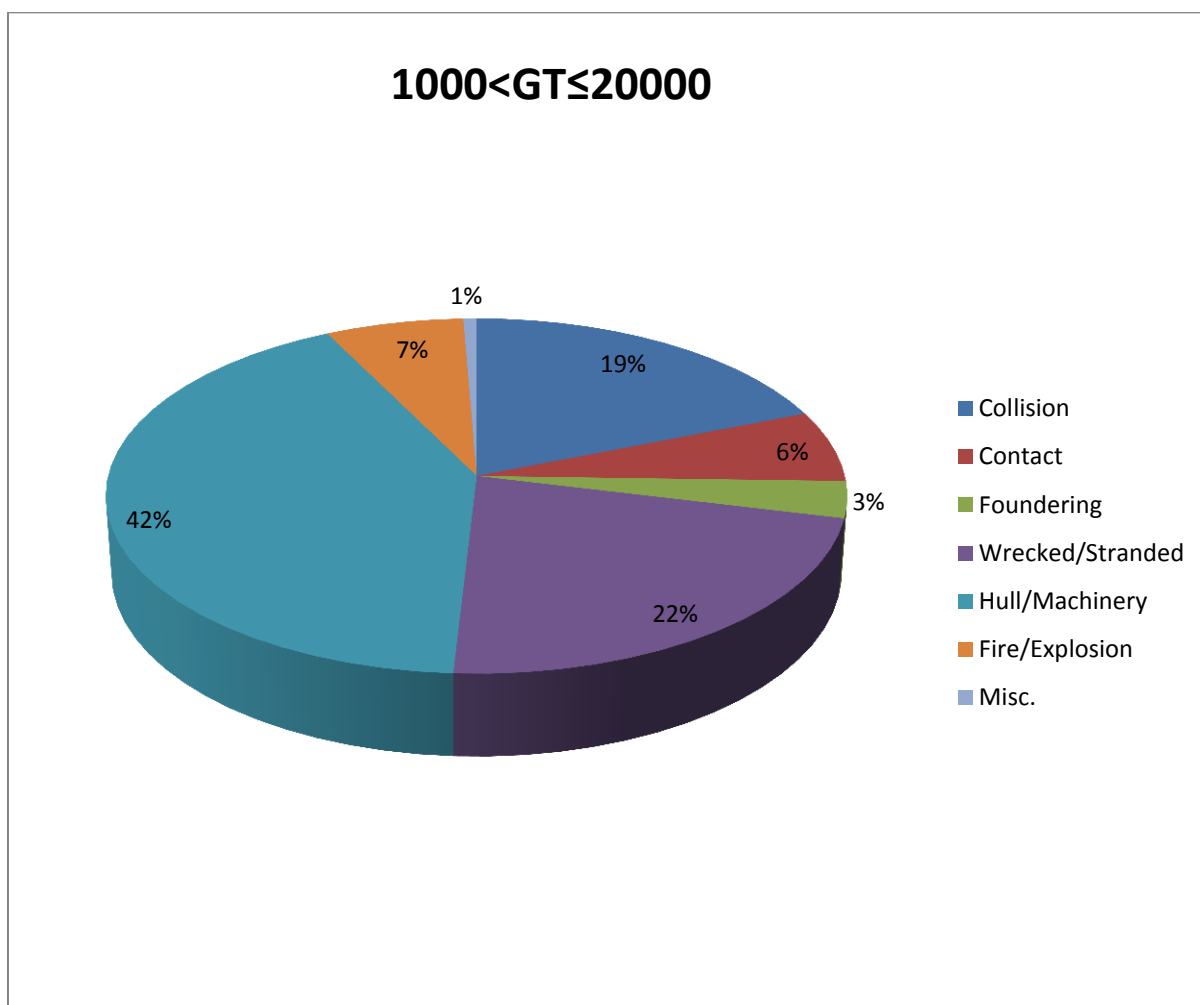
Αρχικά, για την κατηγορία πλοίων με  $499 < GT \leq 1000$ , παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα η ποσοστιαία κατανομή των συνολικών ατυχημάτων με βάση τον τύπο του ατυχήματος. Από το παρακάτω σχήμα βλέπουμε ότι το 25% των συνολικών ατυχημάτων είναι τύπου Hull/Machinery damage, ακολουθούμενο από τα ατυχήματα Collision και Wrecked/Stranded που καταλαμβάνουν το 24% του συνόλου έκαστο. Τα ατυχήματα Foundering καταλαμβάνουν το 13%, τα ατυχήματα Contact το 9% ενώ τα ατυχήματα Fire/Explosion καταλαμβάνουν μόλις το 3% του συνολικού αριθμού ατυχημάτων. Όσον αφορά στις συνέπειες των ατυχημάτων καταγράφηκαν 42 θάνατοι και 28 ολικές απώλειες πλοίων.



**Σχήμα 2.18:** Κατανομή των ατυχημάτων με βάση τον τύπο του ατυχήματος (πλοία τύπου Γ/Φ με  $499 < GT \leq 1000$  για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010).

Για την κατηγορία πλοίων με  $1000 < GT \leq 20000$ , όπως παρουσιάζεται και στο επόμενο σχήμα, το κυρίαρχο ποσοστό των ατυχημάτων με 42% καταλαμβάνουν τα ατυχήματα Hull/Machinery Damage. Ακολουθούν τα ατυχήματα Wrecked/Stranded και Collision με 22% και 19% αντίστοιχα. Τέλος, το 9% των ατυχημάτων είναι ατυχήματα Contact, το 7% των ατυχημάτων είναι Fire/Explosion και το 3% είναι ατυχήματα Foundering. Όσον αφορά στις συνέπειες των ατυχημάτων της συγκεκριμένης κατηγορίας καταγράφηκαν 138 θύματα και 109 ολικές απώλειες πλοίων. Η κατηγορία αυτή όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο συγκεντρώνει την καθολική πλειοψηφία των ατυχημάτων διότι το μεγαλύτερο τμήμα του

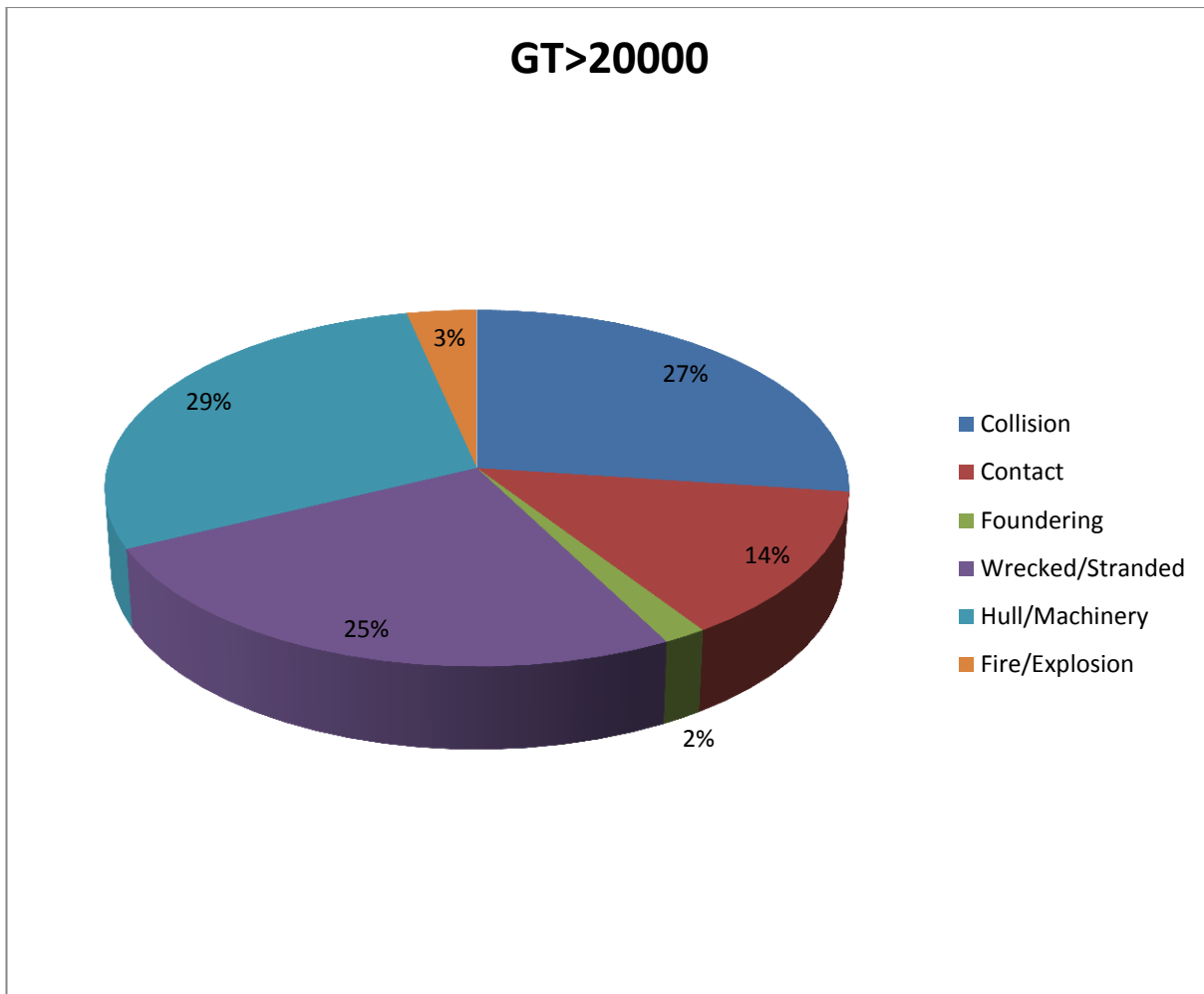
στόλου των πλοίων τύπου Γ/Φ ανήκει σε αυτή. Για το λόγο αυτό τα στοιχεία που αφορούν σε αυτή την κατηγορία είναι αυτά που πρωτίστως πρέπει να ληφθούν υπόψιν.



**Σχήμα 2.19:** Κατανομή των ατυχημάτων με βάση τον τύπο του ατυχήματος (πλοία τύπου Γ/Φ με  $1000 < GT \leq 20000$  για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010.

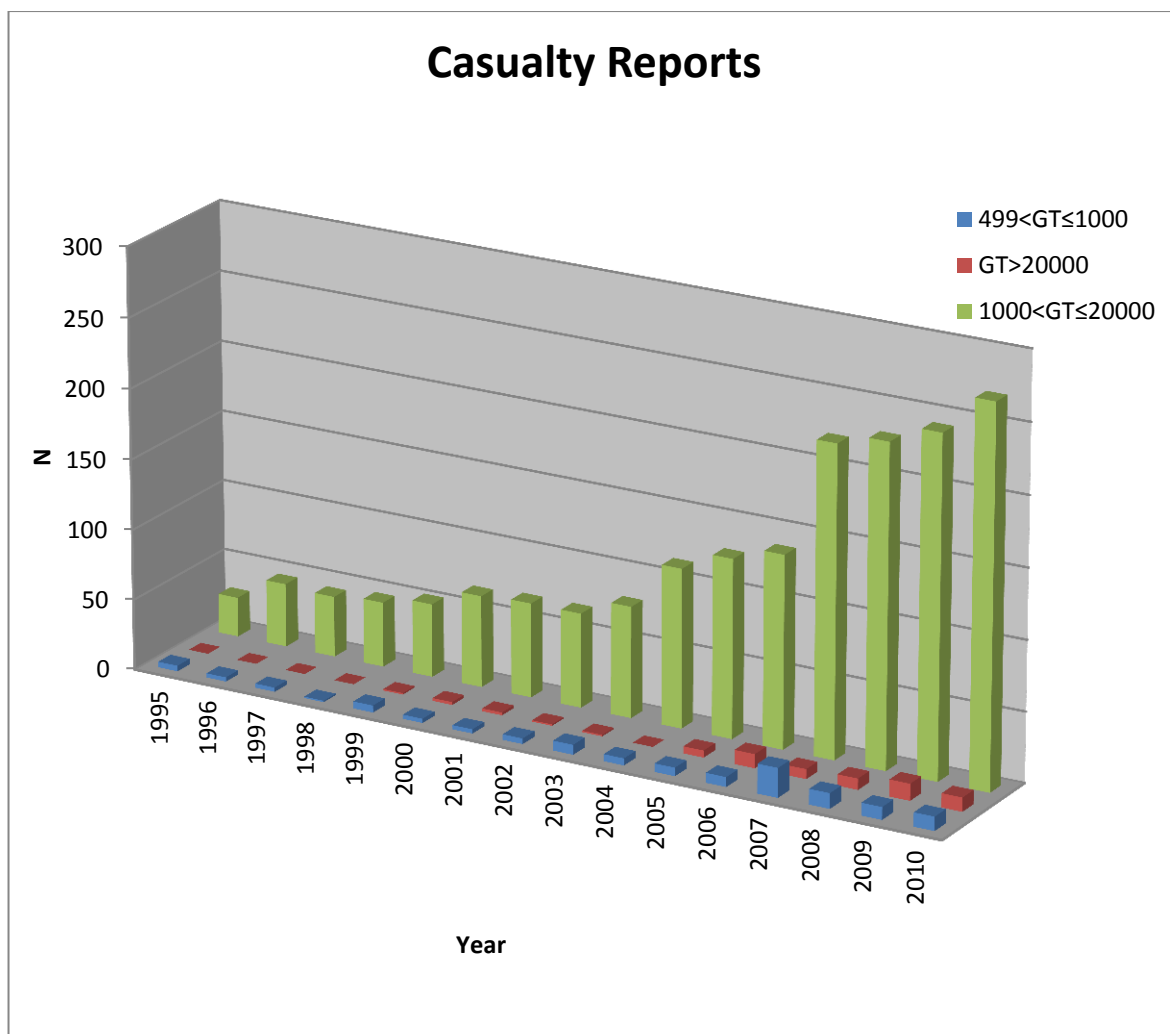
Το σχήμα 2.20 παρουσιάζει την κατανομή των ατυχημάτων στους διάφορους τύπους για τα πλοία τύπου Γ/Φ με GT μεγαλύτερου των 20000 κόνων. Προκύπτει ότι το 29% των συνολικών ατυχημάτων είναι Hull/Machinery damage, το 27% είναι Collision ενώ το 25% είναι Wrecked/Stranded. Με μικρότερα ποσοστά ακολουθούν τα ατυχήματα Contact, Fire/Explosion και Foundering με ποσοστά 14%, 3% και 2% αντιστοίχως. Όσον αφορά στις συνέπειες των ατυχημάτων δεν καταγράφηκαν ούτε ανθρώπινες απώλειες ούτε απώλειες πλοίων για την εξεταζόμενη περίοδο.





**Σχήμα 2.20:** Κατανομή των ατυχημάτων με βάση τον τύπο του ατυχήματος (πλοία τύπου Γ/Φ με GT>20000 για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010).

Στο επόμενο σχήμα (Σχ.2.21), παρουσιάζεται η ετήσια μεταβολή του αριθμού των ατυχημάτων για κάθε μια από τις τρεις κατηγορίες μεγέθους για την περίοδο 1995-2010. Παρατηρούμε ότι για τα πλοία με  $1000 < GT \leq 20000$  υπάρχει μια συνεχής αύξηση του αριθμού των ετησίων αναφορών με τη συνολική αύξηση μεταξύ των 2 χρονικών άκρων της περιόδου να αγγίζει σχεδόν το 1000%. Ξεχωρίζει η μεταβολή μεταξύ των ετών 2006 και 2007 όπου παρατηρούνται 84 περισσότερες περιπτώσεις ατυχημάτων. Το γράφημα αυτό έρχεται σε πλήρη συμφωνία με το σχήμα 2.15 που παρουσιάστηκε προηγουμένως. Για τις άλλες κατηγορίες παρατηρούνται αντίστοιχες μεταβολές, όμως επειδή οι απόλυτοι αριθμοί είναι αρκετά μικροί, το επίπεδο αβεβαιότητας είναι αρκετά υψηλό, οπότε περαιτέρω προσπάθειες εξήγησης του δείγματος δεν είναι δυνατές.

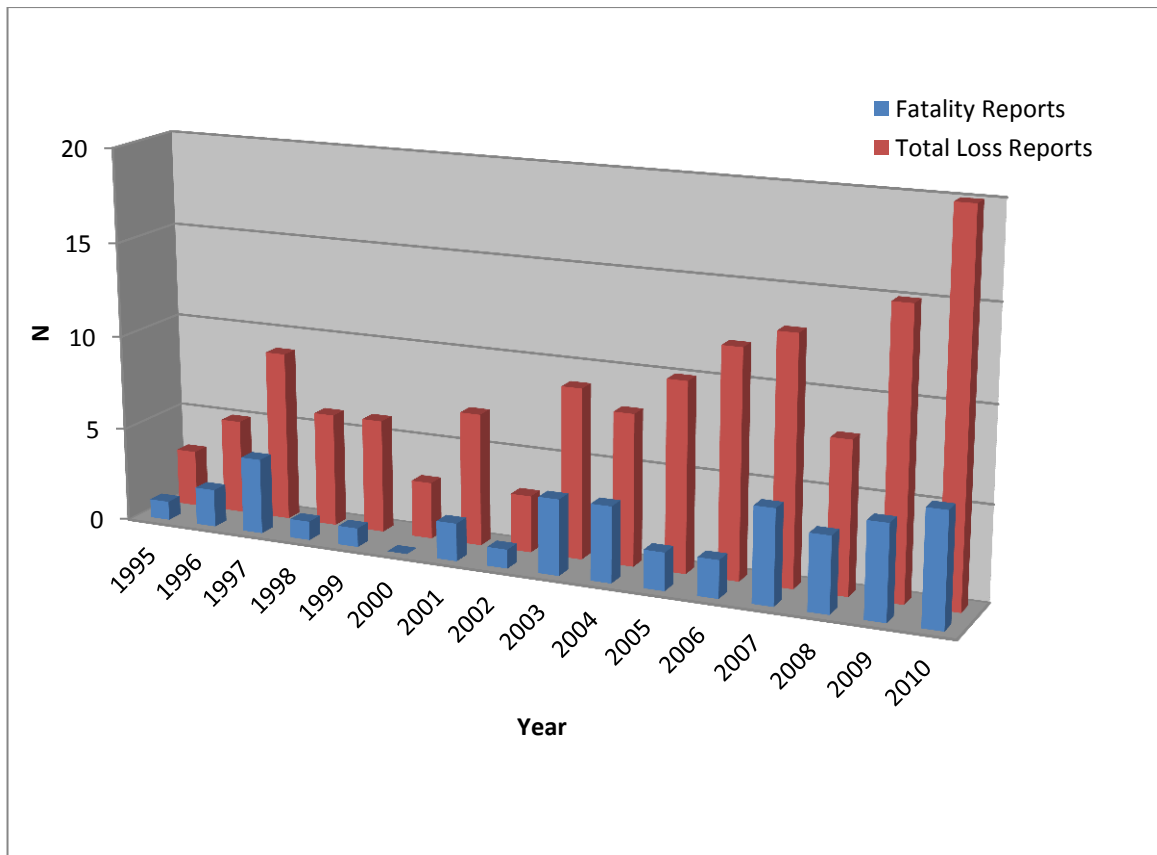


**Σχήμα 2.21:** Ετήσια μεταβολή του αριθμού των ατυχημάτων για κάθε κατηγορία μεγέθους.

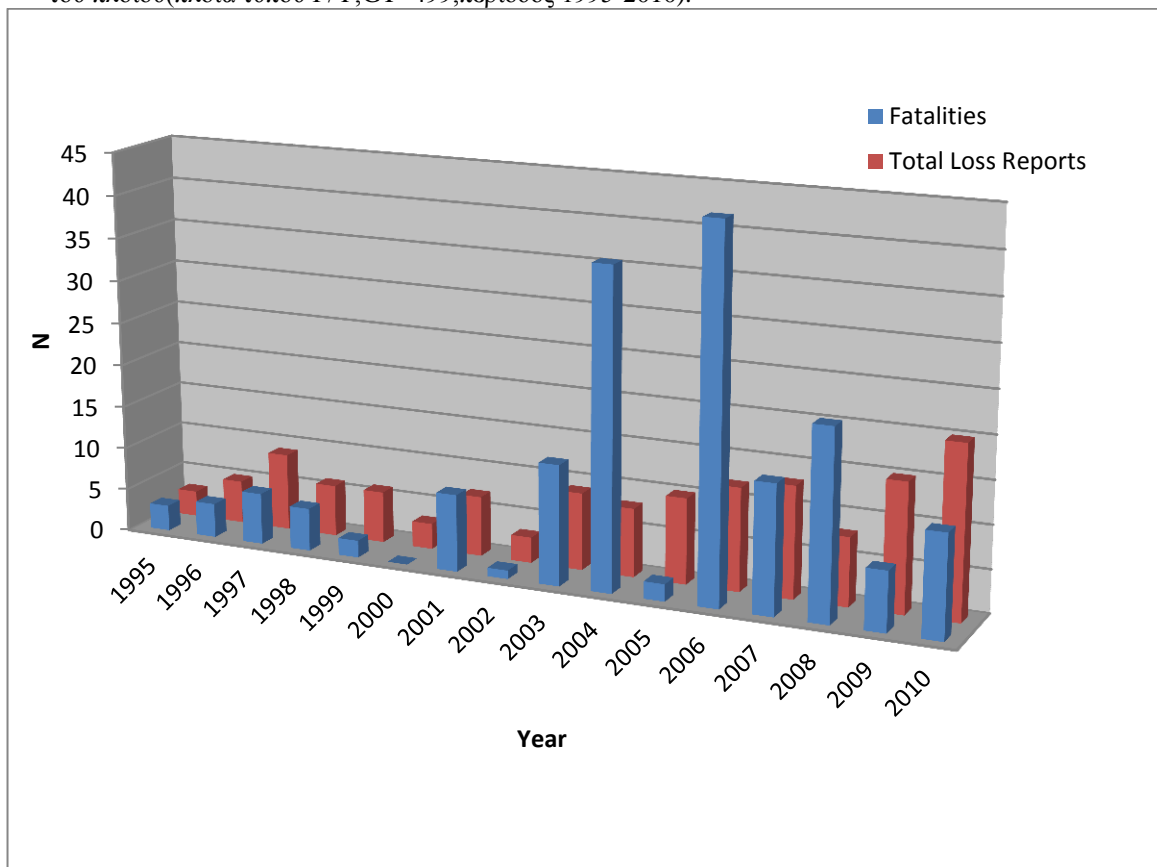
Στο σχήμα 2.22 απεικονίζεται η ετήσια μεταβολή, για την εξεταζόμενη περίοδο 1995-2010, των αναφορών ατυχημάτων όπου καταγράφηκαν ανθρώπινες απώλειες (fatality reports) και των αναφορών όπου καταγράφηκε ολική απώλεια του πλοίου (total loss reports) παρέχοντας έτσι μια λεπτομερή εικόνα πίσω από τους απλούς αριθμούς των ατυχημάτων. Παρατηρείται ότι η αύξηση του αριθμού των ‘σοβαρών’ ατυχημάτων δε μεταφράζεται σε αύξηση των fatality & total loss reports.

Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο αυξανόμενος αριθμός των casualty reports ίσως είναι πιθανότερο να οφείλεται σε βελτίωση των διαδικασιών υποβολής των αναφορών και όχι σε πραγματική αύξηση των ‘σοβαρών’ ατυχημάτων.

Σε συμπλήρωση του σχήματος 2.22 έρχεται το σχήμα 2.23, όπου αντί για fatality reports απεικονίζονται fatalities, δηλαδή ο αριθμός των θυμάτων. Παρατηρούμε ότι κυρίως στα έτη 2004, 2006 αλλά και το 2008 ο αριθμός των θυμάτων είναι σημαντικά αυξημένος. Αυτό δηλώνει ότι τα ατυχήματα των συγκεκριμένων ετών είχαν πολυάριθμες ανθρώπινες απώλειες.



**Σχήμα 2.22:** Ετήσιοι αριθμοί αναφορών ατυχημάτων με ανθρώπινες απώλειες και με ολική απώλεια του πλοίου(πλοία τύπου Γ/Φ,GT>499,περίοδος 1995-2010).

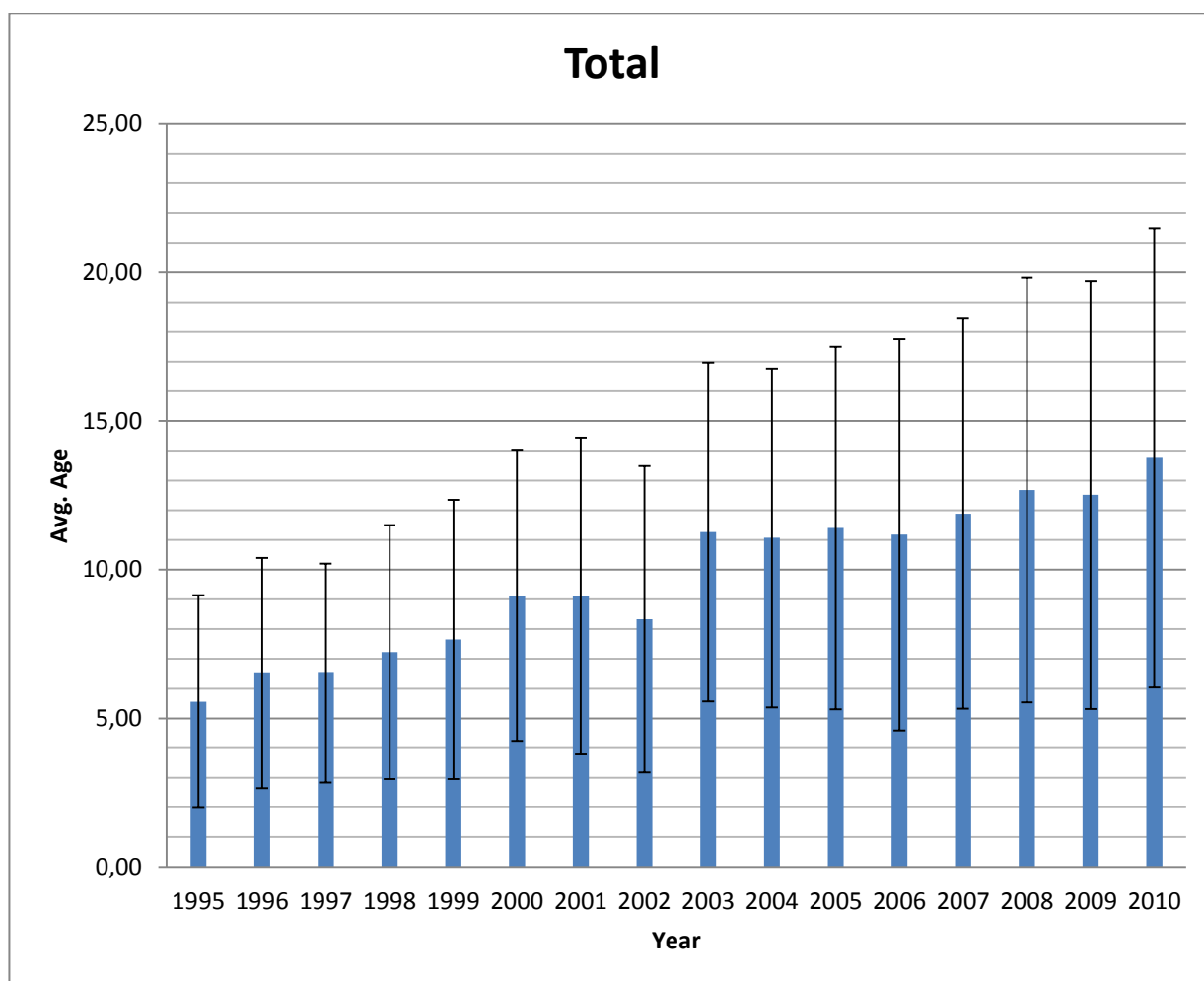


**Σχήμα 2.23:** Ετήσιοι αριθμοί ανθρωπίνων απωλειών και ολικών απωλειών του πλοίου(πλοία τύπου Γ/Φ,GT>499,περίοδος 1995-2010).

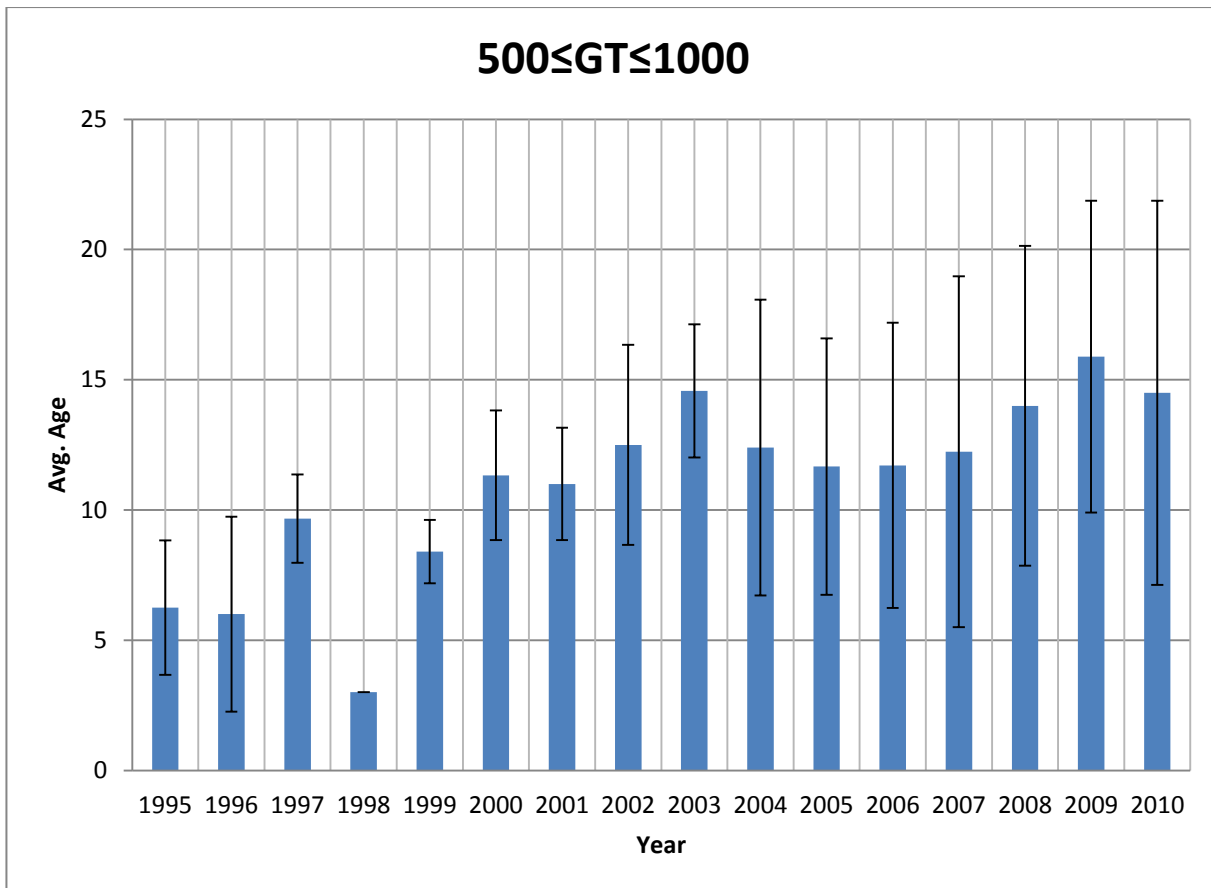
Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο που θα χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των ιστορικών δεδομένων είναι η ηλικία του πλοίου τη στιγμή που πραγματοποιήθηκε το ατύχημα. Στα παρακάτω γραφήματα απεικονίζεται ο ετήσιος μέσος όρος (average) της ηλικίας των πλοίων που είχαν ατυχήματα την περίοδο 1995-2010. Για τα πλοία με GT>20000 κόρους δε βρέθηκαν ατυχήματα την περίοδο 1995-1998 γι' αυτό και το αντίστοιχο γράφημα ξεκινά από το 1999. Η ηλικία ενός πλοίου προκύπτει από χρονολογική αφαίρεση της ημερομηνία κτίσης (built date) από την ημερομηνία του ατυχήματος (casualty date). Για παράδειγμα, αν ένα πλοίο παραδόθηκε στις 12/05/1988 και είχε ατύχημα στις 26/08/2002 τότε είναι ηλικίας 5219 ημερών, δηλαδή 14,3 ετών.

Αρχικά παρουσιάζεται η εικόνα για το σύνολο των πλοίων και στη συνέχεια για κάθε μια από τις κατηγορίες μεγέθους όπως αυτές έχουν οριστεί. Στα γραφήματα φαίνονται και τα περιθώρια σφάλματος μεγέθους  $\pm 1$  τυπική απόκλιση (standard deviation).

Στο σχήμα 2.23 παρατηρείται μια σχεδόν συνεχής αύξηση του μ.ο της ηλικίας των πλοίων από τα 5,56 χρόνια το 1995 στα 13,76 χρόνια το 2010. Αυτό εξηγείται από μια άποψη λόγω του γεγονότος ότι η περίοδος κτίσης του πλοίου παραμένει σταθερή για όλη την εξεταζόμενη περίοδο (01/01/1985-01/01/2010). Για αυτό το λόγο, όσο προχωράμε χρονικά εντός της υπό μελέτη περιόδου τόσο αυξάνεται η ηλικία της πλειοψηφίας των πλοίων, άρα είναι περισσότερο πιθανό το ατύχημα να αφορά σε πλοίο μεγάλης ηλικίας.



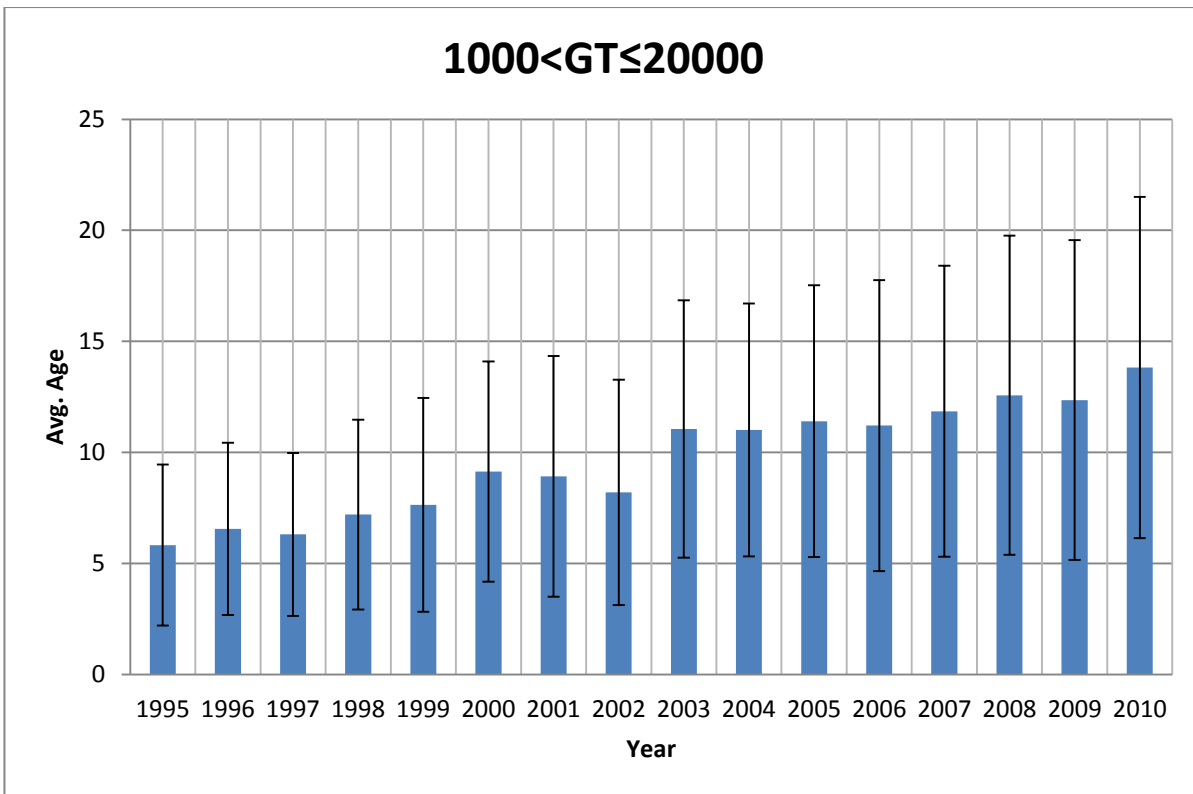
Σχήμα 2.24: Ετήσιος μ.ο ηλικίας πλοίων που είχαν ατύχημα την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010.



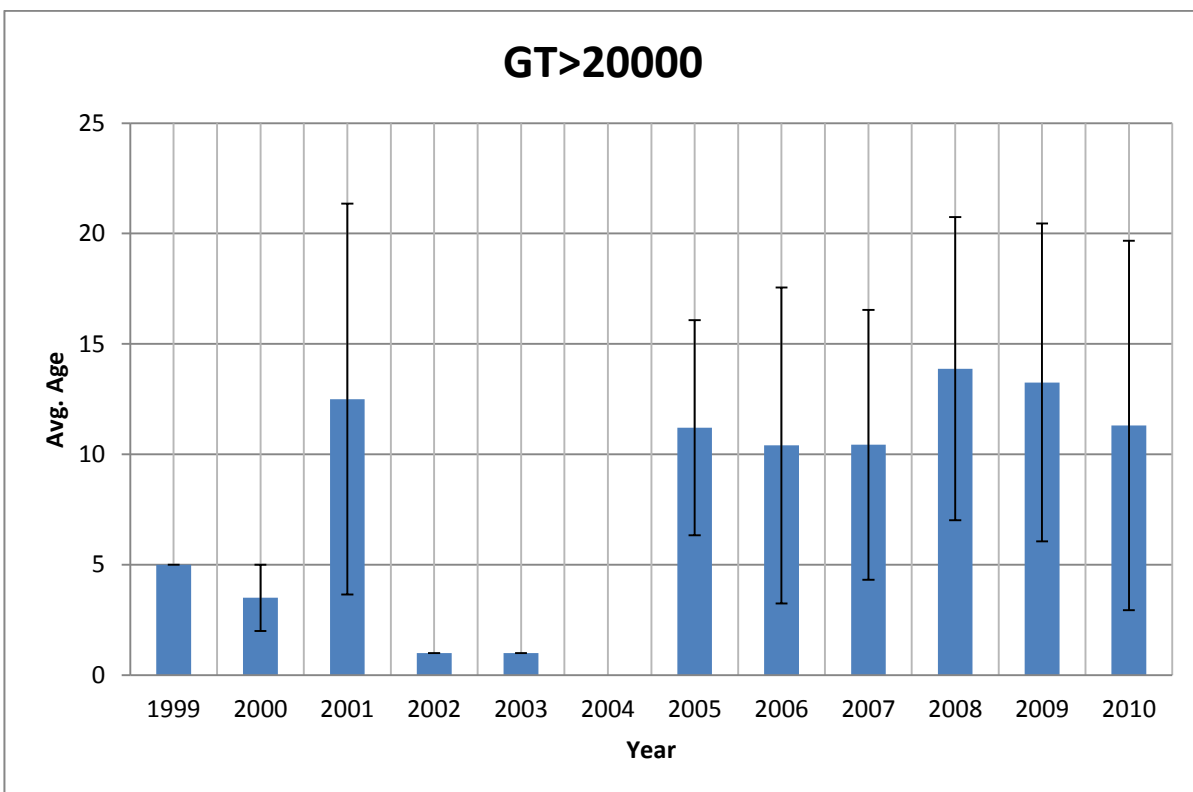
**Σχήμα 2.25:** Ετήσιος μ.ο ηλικίας πλοίων με  $500 \leq GT \leq 1000$  που είχαν ατύχημα την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010.

Στο παραπάνω γράφημα παρατηρούμε ότι η ηλικία των πλοίων με  $500 \leq GT \leq 1000$  που είχαν ατυχήματα την εξεταζόμενη περίοδο εμφανίζει αυξητικές τάσεις εν γένει αλλά με συνεχείς ενδιάμεσες διακυμάνσεις. Ο μέσος όρος της ηλικίας ολόκληρης της περιόδου είναι 10,95 έτη.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αντίστοιχα γραφήματα για τις κατηγορίες  $1000 < GT \leq 20000$  και  $GT > 20000$ . Στην πρώτη περίπτωση είναι φανερή η εν γένει αύξηση μ.ο της ηλικίας με αρκετές ενδιάμεσες αυξομειώσεις με μεγαλύτερη αυτή ανάμεσα στο 2002 και το 2003, όπου παρατηρείται αύξηση της τάξεως του 34,87%. Στη δεύτερη περίπτωση δεν υπάρχουν καταγραφές ατυχημάτων πριν από το 1999 γι' αυτό και το γράφημα ξεκινά από αυτό το έτος. Το μικρό δείγμα πλοίων που είχαν ατυχήματα και ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία δεν μας επιτρέπει περαιτέρω κριτικές.



**Σχήμα 2.26:** Ετήσιος μ.ο ηλικίας πλοίων με 1000<GT≤20000 που είχαν ατύχημα την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010..



**Σχήμα 2.27:** Ετήσιος μ.ο ηλικίας πλοίων με GT>20000 που είχαν ατύχημα την περίοδο 01/01/1999-31/12/2010.

## 2.4 Στόλοι και Πλοία•Έτη

Για τη συνέχεια της ανάλυσης των στοιχείων που περιλαμβάνει υπολογισμός συχνοτήτων διαφόρων μεγεθών για την εξεταζόμενη περίοδο και με βάση τα ιστορικά δεδομένα που εξάχθηκαν από τη Sea-Web είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τον ετήσιο στόλο πλοίων τύπου Γ/Φ που βρίσκονταν σε λειτουργία για τη δεδομένη περίοδο, 01/01/1995-31/12/2010, με τα χαρακτηριστικά που έχουμε θέσει από την αρχή ως προϋποθέσεις, δηλαδή:

- GT>499
- Date of build: 01/01/1985-01/01/2010

Τα στοιχεία που αφορούν στους στόλους της περιόδου 1995-2010 βρέθηκαν από συνδυασμό αναζητήσεων στη Sea-Web, στους Clarkson και το [www.equasis.org](http://www.equasis.org). Γελικά προέκυψαν τα παρακάτω νούμερα.

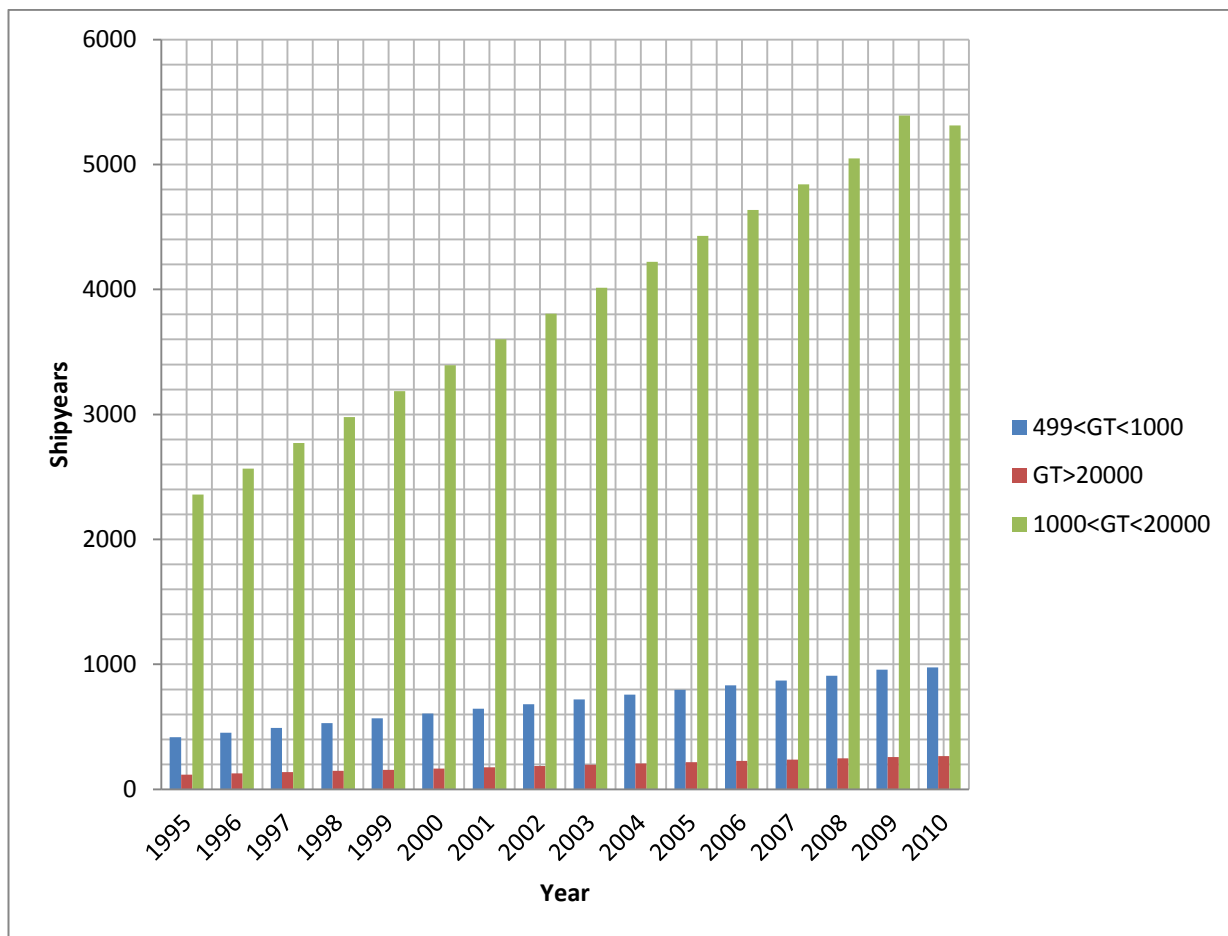
Πίνακας 2.12: Ετήσιοι στόλοι κάθε καθε κατηγορίας μεγέθους για την περίοδο 1995-2010.

ΠΛΟΙΑ•ΕΤΗ (SHIPYEARS)					
έτος	Συνολικός Στόλος	499<GT≤1000	1000<GT≤20000	GT>20000	Στόλος υπό μελέτη
1995	16222	416	2358	117	2891
1996	16165	454	2565	127	3146
1997	16103	492	2772	137	3401
1998	15869	530	2979	147	3656
1999	15686	568	3186	157	3911
2000	15570	606	3393	167	4166
2001	15431	644	3600	177	4421
2002	15298	682	3807	187	4676
2003	15276	720	4014	197	4931
2004	15164	758	4221	207	5186
2005	15210	796	4428	217	5441
2006	15423	833	4635	228	5696
2007	15565	871	4842	238	5951
2008	15677	909	5049	248	6206
2009	15762	958	5391	259	6608
2010	15811	976	5312	265	6553
<b>Total</b>		<b>11213</b>	<b>62552</b>	<b>3075</b>	76840

### ΣΗΜΕΙΩΣΗ:

Ο αριθμός των συνολικών Shipyears προκύπτει 76840. Παρατηρούμε ότι ενώ ο συνολικός στόλος των είναι περίπου 16000 πλοία ετησίως, αυτός που είναι υπό μελέτη είναι αρκετά μικρότερος. Στον υπολογισμό των Shipyears δε λήφθηκαν υπόψη ενδιάμεσες προσθαφαιρέσεις πλοίων λόγω νέων παραδόσεων ή scrapping, διότι δεν υπήρχε πρόσβαση σε τέτοιου είδους στοιχεία. Για το λόγο αυτό ο πραγματικός αριθμός των Shipyears ενδέχεται να διαφέρει σε ελάχιστο όμως βαθμό από τον υπολογισθέν.

Το επόμενο γράφημα μας δίνει μια οπτική απεικόνιση του παραπάνω πίνακα.



Σχήμα 2.28: Αριθμός Shipyears για κάθε κατηγορία μεγέθους και για κάθε έτος της περιόδου 1995-2010.

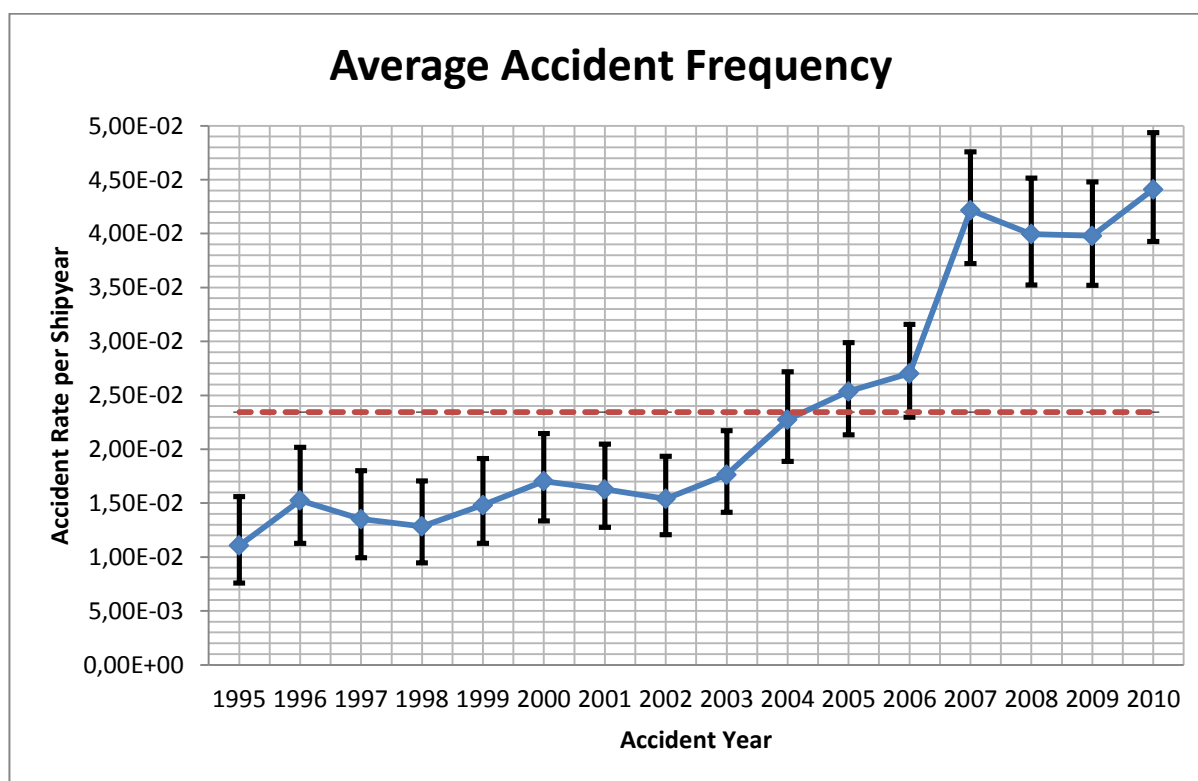


## Κεφάλαιο 3ο:ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

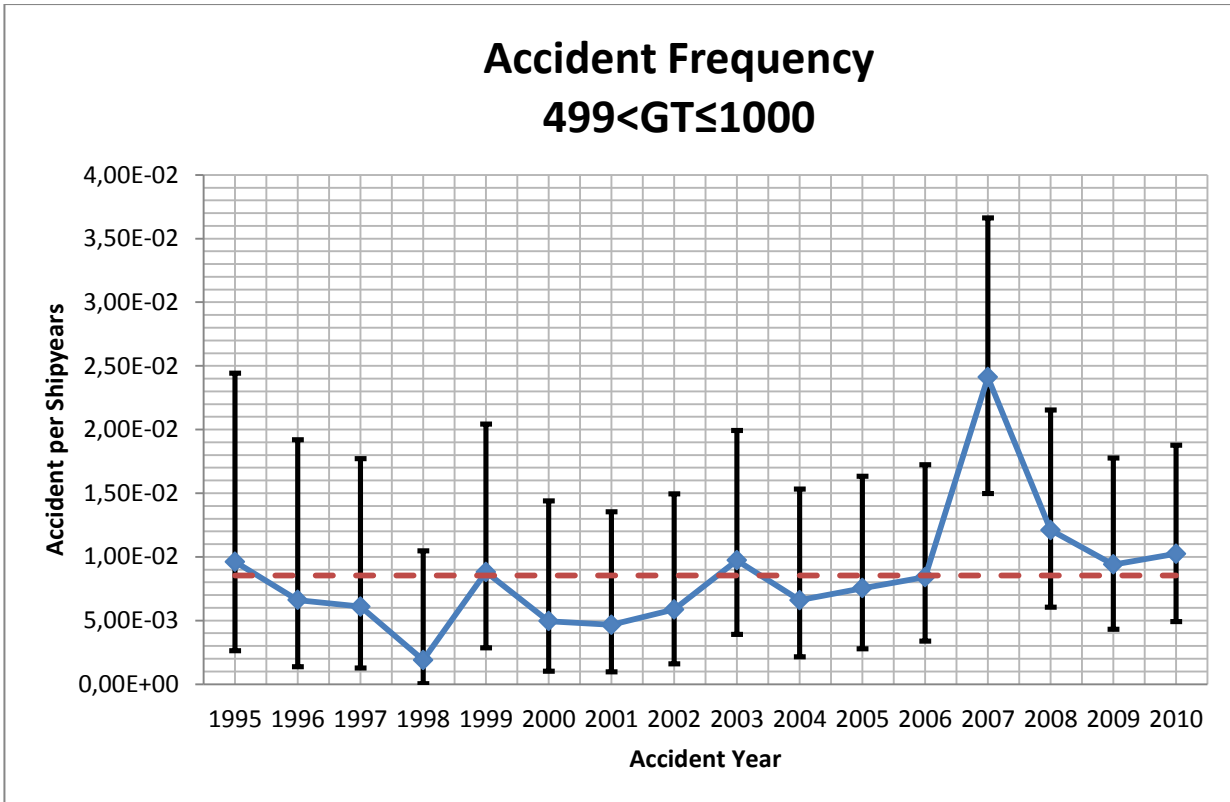
Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται οι αναφορές ατυχημάτων, που εξετάστηκαν μέσω της βάσης δεδομένων της Sea-Web, σχετικά με τις συνέπειές τους, δηλαδή ανθρώπινες απώλειες (fatalities), ολικές απώλειες των πλοίων, (total losses), ύπαρξη αγνοουμένων (missing). Περιβαλλοντικές συνέπειες δεν εξετάζονται διότι αριθμός των ατυχημάτων που οδήγησαν σε διαρροή φορτίου ή καυσίμου είναι πολύ μικρός, ενώ ο όγκος της διαρροής είναι αμελητέος στις περισσότερες περιπτώσεις. Στο κεφάλαιο αυτό, υπολογίζονται και οι συχνότητες των ατυχημάτων και θα παρουσιαστούν και γραφικά στη συνέχεια.

### 3.1 'Σοβαρά ατυχήματα'/Πλοία•Έτη για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010

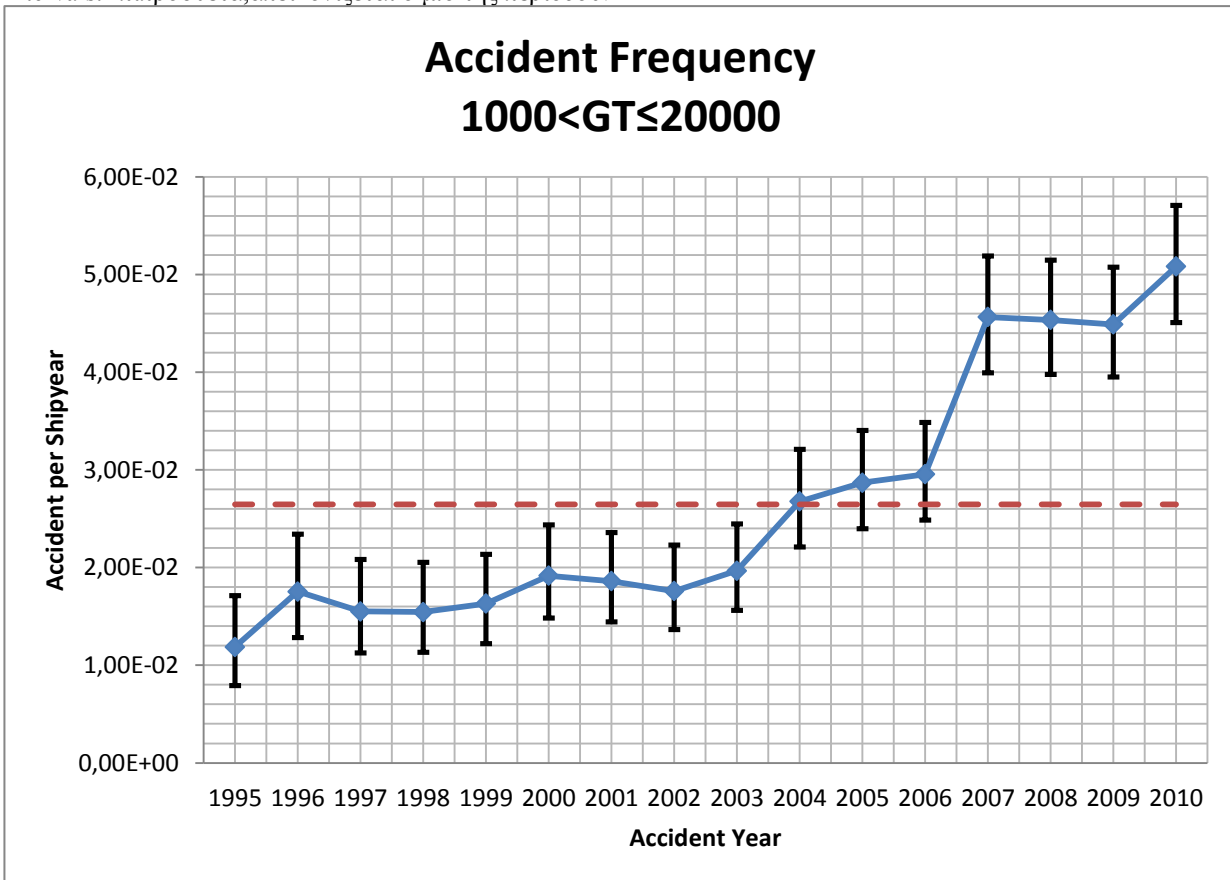
Στο πρώτο σχήμα αυτής της 'οικογένειας' γραφημάτων παρουσιάζεται η ετήσια μεταβολή της συχνότητας ατυχημάτων για το σύνολο των υπό μελέτη πλοίων της εξεταζόμενης περιόδου. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια σαφής ανοδική πορεία των accident rates. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η μέση τιμή των συχνοτήτων που υπολογίστηκαν και είναι  $2,34 \cdot 10^{-2}$ . Μεγαλύτερες τιμές της συχνότητας εμφανίζεται το 2007 και το 2010, με 251 και 289 ατυχήματα να παρατηρούνται αντιστοίχως. Το γράφημα περιλαμβάνει και τα 95% **Confidence Intervals**, για τα οποία γίνεται ξεχωριστή αναφορά μετά τα διαγράμματα.



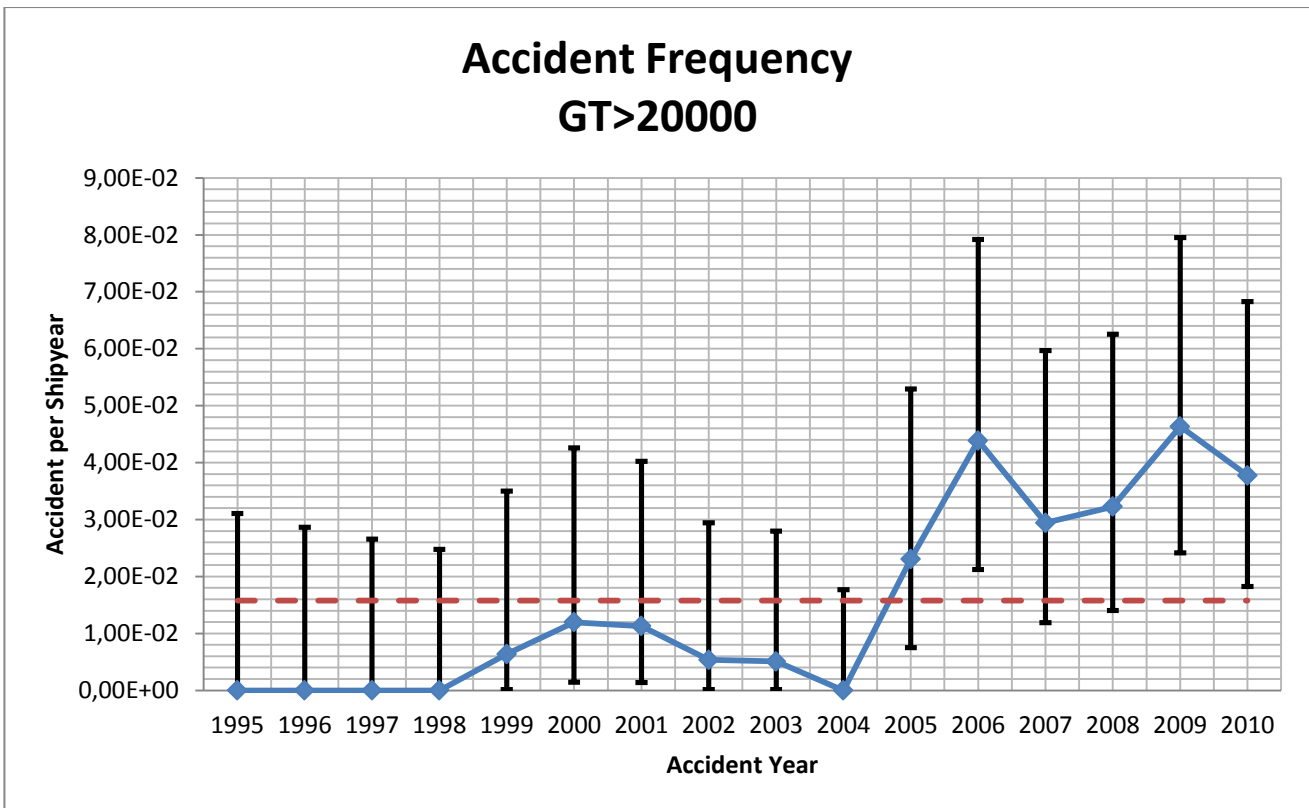
**Σχήμα 3.1:** Ετήσια συχνότητα ατυχημάτων για όλες τις κατηγορίες μεγέθους με 95% confidence intervals. Επιπρόσθετα, απεικονίζεται ο μ.ο της περιόδου.



**Σχήμα 3.2:** Ετήσια συχνότητα ατυχημάτων για πλοία με  $499 < GT \leq 1000$ , με 95% confidence intervals. Επιπρόσθετα, απεικονίζεται ο μ.ο της περιόδου.



**Σχήμα 3.3:** Ετήσια συχνότητα ατυχημάτων για πλοία με  $1000 < GT \leq 20000$ , με 95% confidence intervals. Επιπρόσθετα, απεικονίζεται ο μ.ο της περιόδου.



**Σχήμα 3.4:** Ετήσια συχνότητα ατυχημάτων για πλοία με GT>20000, με 95% confidence intervals και απεικόνιση του μ.ο του περιόδου.

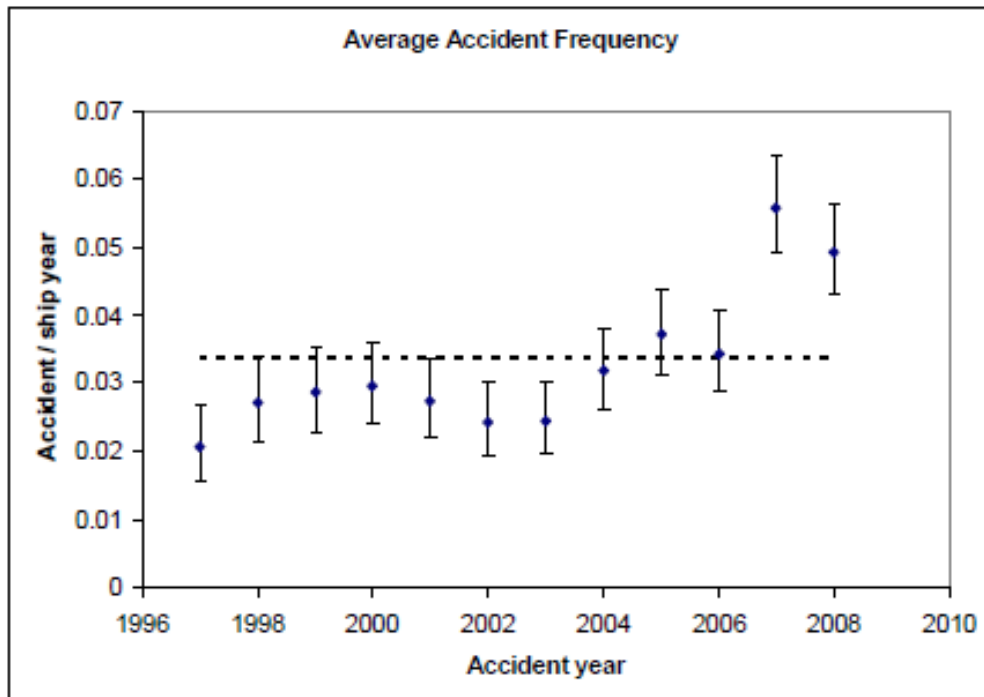
Από τα παραπάνω γραφήματα γίνεται ξεκάθαρα αντιληπτό ότι η μεσαία κατηγορία μεγέθους  $1000 < GT \leq 20000$  στην ουσία αντιπροσωπεύει το σύνολο του δείγματος. Οι μέσες τιμές των συχνοτήτων είναι:

- $8,54 \cdot 10^{-3}$  για πλοία με  $499 < GT \leq 1000$ .
- $2,65 \cdot 10^{-2}$  για πλοία με  $1000 < GT \leq 20000$ .
- $1,58 \cdot 10^{-2}$  για πλοία με  $GT > 20000$ .

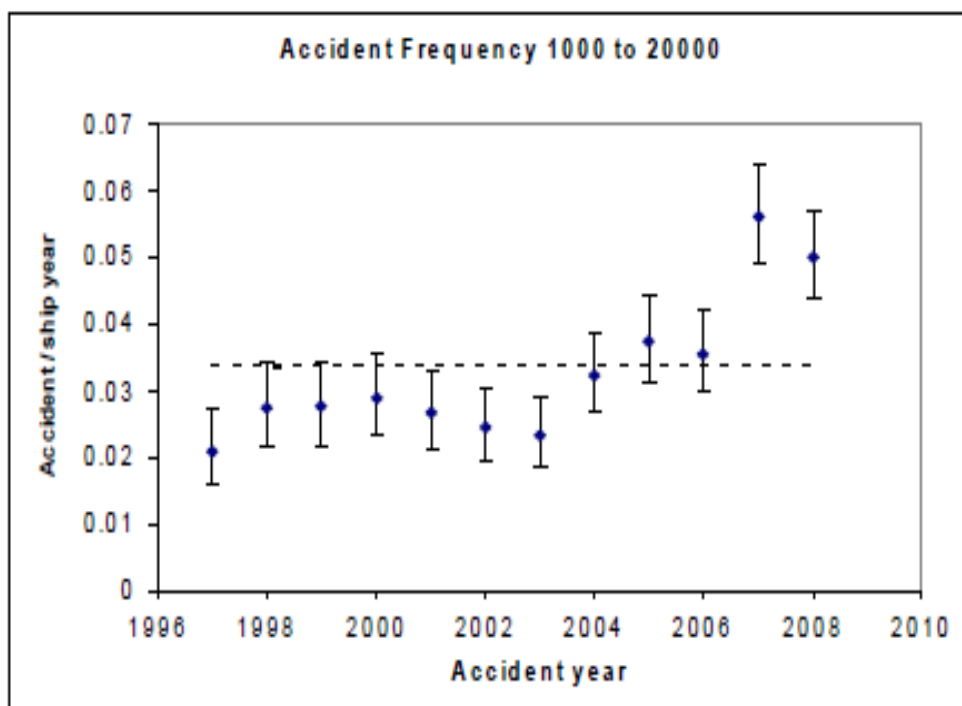
Παρατηρούμε ότι η δεύτερη κατηγορία εμφανίζει μέση τιμή των συχνοτήτων ατυχημάτων παραπλήσια με αυτή που υπολογίστηκε για το σύνολο των εξεταζόμενων στόλων. Κοντινή είναι και η τιμή της τρίτης κατηγορίας γεγονός που προκύπτει από τον εξαιρετικό μικρό αριθμό των Shipyears αυτής της κατηγορίας (βλέπε πίνακα 2.12). Έτσι και η ύπαρξη ενός μόνο ατυχήματος ανεβάζει αρκετά την τιμή της συχνότητας.

Στο σημείο αυτό προς περαιτέρω αξιολόγηση των αποτελεσμάτων παρατίθεται το διάγραμμα μεταβολής συχνοτήτων για το σύνολο των πλοίων από τη μελέτη του IACS που παρουσιάστηκε στη MSC87/Inf 3. Παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα των συχνοτήτων είναι της ίδιας τάξεως με αυτά του IACS ελαφρώς αυξημένα, γεγονός που δικαιολογείται από το μεγαλύτερο αριθμό πλοίων·έτη στη δική μας εργασία, αφού δεν υπάρχει περιορισμός ως προς τις κλάσεις.

Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στα confidence intervals, τα λεγόμενα ‘διαστήματα εμπιστοσύνης’. Ο ορισμός και ο υπολογισμός αυτών των μεγεθών είναι το επίκεντρο της επόμενης παραγράφου.



Σχήμα 3.5: Αποτελέσματα μελέτης IACS για το σύνολο των πλοίων.



Σχήμα 3.6: Αποτελέσματα μελέτης IACS για τα πλοία με  $1000 < GT \leq 20000$ .

Επιλέχθηκαν τα 2 παραπάνω σχήματα από τη μελέτη του IACS γιατί αυτά θεωρούνται ότι αντιπροσωπεύουν το σύνολο των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας συγκλίνουν προς αυτά του IACS με μικρές διαφορές να εξηγούνται λόγω της διαφοροράς των shipyears, διότι η διπλωματική εργασία αναφέρεται σε όλα τα πλοία ανεξάρτητα με την κλάση τους. Για το λόγο αυτό, μπορεί να ειπωθεί πως τα αποτελέσματα της εργασίας είναι πιο αντιπροσωπευτικά.

### **3.1.1 Confidence Intervals(c.i)**

Στη Στατιστική, ένα **confidence interval** είναι ένα συγκεκριμένο είδος διαστήματος εκτίμησης μιας παραμέτρου ενός πληθυσμού και χρησιμοποιείται ως ένδειξη της αξιοπιστίας της εκτίμησης. Είναι ένα διάστημα που υπολογίζεται από τις παρατηρήσεις και είναι διαφορετικό από δείγμα σε δείγμα. Η τιμή της παραμέτρου μπορεί να περιλαμβάνεται στο διάστημα εκτίμησης. Το πόσο συχνά περιλαμβάνεται η τιμή της παραμέτρου στο διάστημα εκτίμησης εξαρτάται από το επίπεδο ή σταθερά εμπιστοσύνης (confidence level or confidence coefficient).

Ένα confidence interval με ένα συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης έχει σκοπό να δίνει τη βεβαιότητα πως, αν το στατιστικό μοντέλο είναι σωστό, τότε το ποσοστό των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του c.i και περιέχονται μέσα σε αυτό θα είναι ίσο με το επίπεδο εμπιστοσύνης. Πιο συγκεκριμένα, η έννοια του όρου 'επίπεδο εμπιστοσύνης' είναι πως, αν c.i κατασκευάζονταν για αναλύσεις δεδομένων ενός επαναλαμβανόμενου πειράματος, το ποσοστό αυτών των c.i που θα περιείχαν την αληθή τιμή της παραμέτρου θα ήταν περίπου ίσο με το 'επίπεδο εμπιστοσύνης'. Αυτή είναι η αρχή στην οποία βασίζεται ο υπολογισμός των c.i.

Ένα confidence interval δεν προβλέπει ότι η αληθής τιμή της παραμέτρου έχει συγκεκριμένη πιθανότητα να είναι εντός του c.i με βάση τα δεδομένα που ο μελετητής έχει στα χέρια του. Ένα interval με αυτή την ιδιότητα, καλείται credible interval και υπολογίζεται με Bayesian μεθόδους, και έχει τα δικά του συν και πλην.

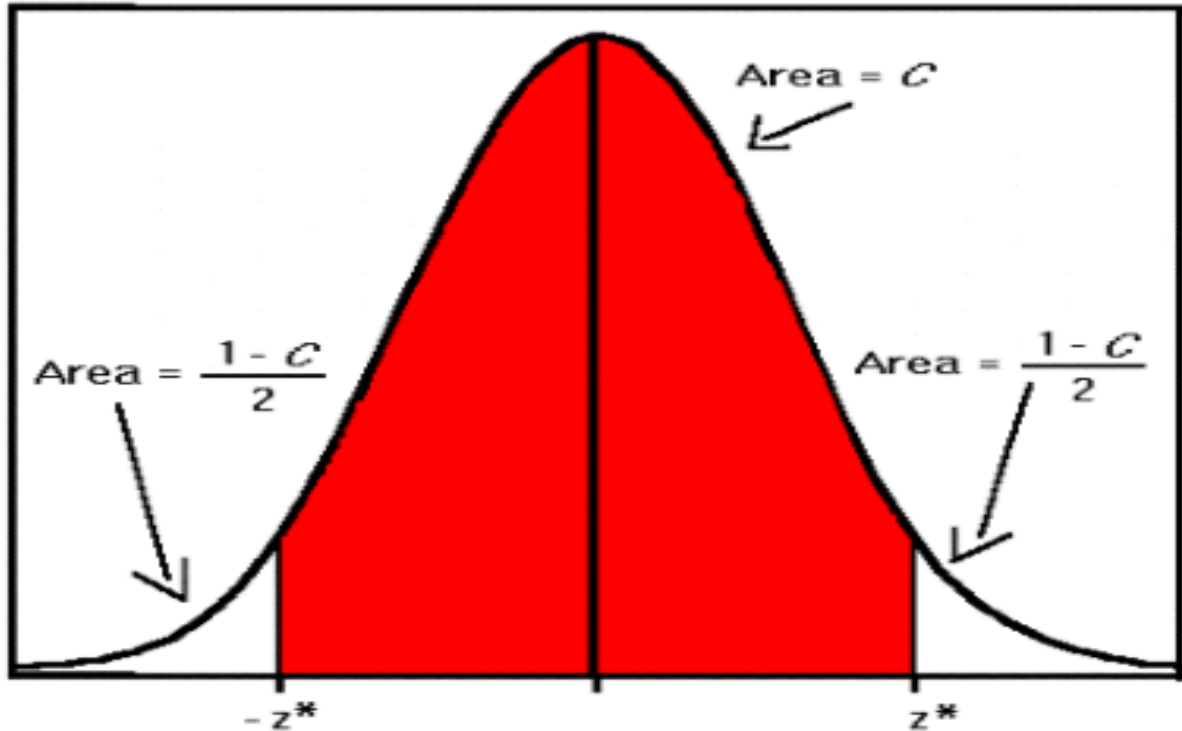
Η επιλογή του επιπέδου εμπιστοσύνης καθορίζει την πιθανότητα του να περιέχεται η αληθής τιμή της παραμέτρου στο παραγόμενο c.i. Οι πιο κοινές επιλογές επιπέδου εμπιστοσύνης είναι 0.90, 0.95, 0.99. Οι τιμές αυτές αντιπροσωπεύουν το ποσοστό των αντιστοίχων περιοχών σε μια καμπύλη τυπικής κανονικής κατανομής, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα. Για παράδειγμα, ένα 95% confidence interval, όπως αυτά που είχαν τα προηγούμενα γραφήματα της εργασίας, καλύπτει το 95% της περιοχής κάτωθεν της καμπύλης υποδηλώνοντας πως υπάρχει πιθανότητα μόλις 5% η τιμή της παραμέτρου να είναι εκτός αυτής της περιοχής. Στην περίπτωση της τυπικής κανονικής κατανομής η καμπύλη είναι συμμετρική, οπότε το 5% ισομοιράζεται στις 2 ακριανές περιοχές με ποσοστό 2,5% η κάθε μια. Στο επόμενο σχήμα με C συμβολίζεται το επίπεδο εμπιστοσύνης.

Η τιμή  $z^*$  παριστά αυτό το σημείο της καμπύλης κανονικής κατανομής για το οποίο η πιθανότητα μιας παρατήρησης με τιμή μεγαλύτερη από  $z^*$  είναι ίση με  $p$ , γνωστή ως άνω  $p$ -κρίσιμη τιμή της τυπικής κανονικής κατανομής. Για παράδειγμα, αν  $p=0.025$ , τότε η τιμή  $z^*$  ώστε να ισχύει  $P(Z > z^*)=0.025$  ή ισοδύναμα  $P(Z \leq z^*)=0.975$  είναι 1.96. Για ένα c.i με επίπεδο εμπιστοσύνης C, η τιμή  $p$  ισούται με  $(1-C)/2$ . Επομένως ένα 95% confidence interval για την τυπική κανονική κατανομή είναι το διάστημα  $(-1.96, 1.96)$ , αφού το 95% της περιοχής κάτω από την καμπύλη ανήκει σε αυτό το διάστημα.

Για ένα πληθυσμό με άγνωστη μέση τιμή  $m$  και γνωστή τυπική απόκλιση  $\sigma$ , ένα c.i για τη μέση τιμή ενός τυχαίου δείγματος μεγέθους  $n$  του πληθυσμού υπολογίζεται από τη σχέση:

$$c.i = \frac{\bar{x} \pm z^*}{\sigma/\sqrt{n}}$$

Η παραπάνω σχέση ισχύει μόνο όταν ο πληθυσμός ακολουθεί την κανονική κατανομή. Για μεγάλα δείγματα από πληθυσμούς με διαφορετική κατανομή αυτή η τιμή διορθώνεται με βάση το **Κεντρικό Οριακό Θεώρημα**.



Σχήμα 3.7: Απεικόνιση του επίπεδου εμπιστοσύνης  $C$  και της τιμής  $z^*$  στην περίπτωση της τυπικής κανονικής κατανομής.

Ένας τυπικός ορισμός του Κ.Ο.Θ είναι ο παρακάτω:

<<Εάν  $\bar{x}$  είναι η μέση τιμή ενός τυχαίου δείγματος  $x_1, x_2, \dots, x_n$  μεγέθους που ακολουθεί μια κατανομή με πεπερασμένη μέση τιμή  $\mu$  και πεπερασμένη διακύμανση  $\sigma^2$ , τότε η κατανομή  $W = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$  είναι  $N(0,1)$  καθώς το  $n$  πλησιάζει το άπειρο>>.

Αυτό σημαίνει ότι η μεταβλητή  $\bar{x}$  ακολουθεί την κατανομή  $N(\mu, \sigma/\sqrt{n})$ .

Μια ευρέως γνωστή εφαρμογή του Κ.Ο.Θ είναι η προσέγγιση της διωνυμικής κατανομής με την κανονική. Στην περίπτωση αυτή η σχέση που χρησιμοποιείται είναι η εξής:

$$c.i = \hat{p} \pm (z_{1-\alpha/2} \cdot \sqrt{\frac{\hat{p} \cdot (1-\hat{p})}{n}})$$

όπου,

- $\hat{p}$ , είναι το ποσοστό επιτυχιών σε μια διαδικασία δοκιμών Bernoulli όπως υπολογίζεται από το στατιστικό δείγμα.
- $z_{1-\alpha/2}$ , είναι το  $1-\alpha/2$  εκατοστημόριο μιας τυπικής κανονικής κατανομής.
- $\alpha$ , είναι το επίπεδο εμπιστοσύνης.
- $n$ , το μέγεθος του δείγματος.

Επειδή όμως τα παραπάνω επικεντρώνονται στην περίπτωση της τυπικής κανονικής κατανομής θα προχωρήσουμε σε ένα πιο γενικευμένο ορισμό του c.i.

Έστω  $\underline{X}$  ένα τυχαίο δείγμα μιας πιθανοθεωρητικής κατανομής με  $\theta$  την παράμετρο που μας ενδιαφέρει και  $\varphi$  μια παράμετρο εκτός ενδιαφέροντος. Ένα c.i για την παράμετρο  $\theta$ , με επίπεδο εμπιστοσύνης  $\gamma$ , είναι ένα διάστημα με τυχαία άκρα  $(u(X), v(X))$  με την ιδιότητα:

$$\gamma = \Pr_{\theta, \varphi}(u(X) < \theta < v(X)), \text{ για κάθε } (\theta, \varphi).$$

Οι ποσότητες  $\varphi$  καλούνται nuisance-parameteres και αποτελούν μελλοντικό αντικείμενο μελέτης. Ο αριθμός  $\gamma$  λαμβάνει τιμές κοντά στο 1, όπως ήδη αναφέρθηκε. Η  $\Pr_{\theta, \varphi}$  είναι η συνάρτηση πιθανότητας της τυχαίας μεταβλητής  $X$  που χαρακτηρίζεται από τις παραμέτρους  $(\theta, \varphi)$ .

Ο αντίστοιχος ορισμός για τα Bayesian intervals καλούμενα credible intervals είναι ο παρακάτω:

$$\Pr(u(x) < \Theta < v(x), | X=x) = 1 - \alpha$$

Στην περίπτωση η άγνωστη τιμή της παραμέτρου  $\theta$  λαμβάνεται ως τυχαία μεταβλητή  $\Theta$ . Συγκρίνοντας τους 2 παραπάνω ορισμούς μπορούμε να πούμε ότι:

1<sup>ov</sup>) ο ορισμός ενός confidence interval εμπεριέχει πιθανότητες υπολογισμένες από την κατανομή της μεταβλητής  $X$  για δεδομένα  $(\theta, \varphi)$  και τη συνθήκη που πρέπει να ισχύει για όλα τα ζεύγη  $(\theta, \varphi)$ .

2<sup>ov</sup>) ο ορισμός ενός credible interval εμπεριέχει πιθανότητες υπολογισμένες από την κατανομή της μεταβλητής  $\Theta$  για τις τιμές  $X=x$  των παρατηρήσεων και περιθωριοποιημένες από τις τιμές της μεταβλητής  $\Phi$ , η οποία είναι η τυχαία μεταβλητή που αντιπροσωπεύει την αβεβαιότητα γύρω από τις τιμές της nuisance-παραμέτρου  $\varphi$ .

Σε κάθε περίπτωση, ο υπολογισμός ενός confidence interval οφείλει να διαθέτει τις τρεις παρακάτω ιδιότητες:

- ✓ Εγκυρότητα (validity): αυτό σημαίνει πως το επίπεδο εμπιστοσύνης που έχει οριστεί πρέπει να απαντάται ακριβώς ή πολύ κοντά στις επικείμενες μετρήσεις-υπολογισμούς επί του δείγματος.
- ✓ Βέλτιστη απόδοση (optimality): αυτό σημαίνει πως πρέπει να γίνεται χρήση του μέγιστου δυνατού αριθμού δεδομένων από αυτά που διαθέτει ο μελετητής. Ένα μέσο κρίσης του κατά πόσο βέλτιστο είναι ένα c.i αποτελεί το μήκος του. Γενικά, c.i μικρότερου μήκους θεωρούνται πιο βέλτιστα.
- ✓ Μη-διακύμανση (invariance): σε πολλές εφαρμογές η ποσότητα που εκτιμάται δεν είναι σαφώς ορισμένη. Για παράδειγμα, μια έρευνα που μελετά το μέσο εισόδημα ενός πληθυσμού, είναι πιθανό να εκτιμά το λογάριθμο του μέσου εισοδήματος, διότι είναι ένας συχνός τρόπος παρουσίασης αριθμητικών αποτελεσμάτων. Θα ήταν επομένως επιθυμητό η μέθοδος κατασκευής των c.i να δίνει ισοδύναμα αποτελέσματα και για τους 2 τρόπου εκτίμησης του μέσου εισοδήματος. Πιο συγκεκριμένα τα άκρα του διαστήματος για εκτίμηση του λογαρίθμου του μέσου εισοδήματος πρέπει να είναι οι λογάριθμοι των τιμών των άκρων του διαστήματος για απλή εκτίμηση του μέσου εισοδήματος.

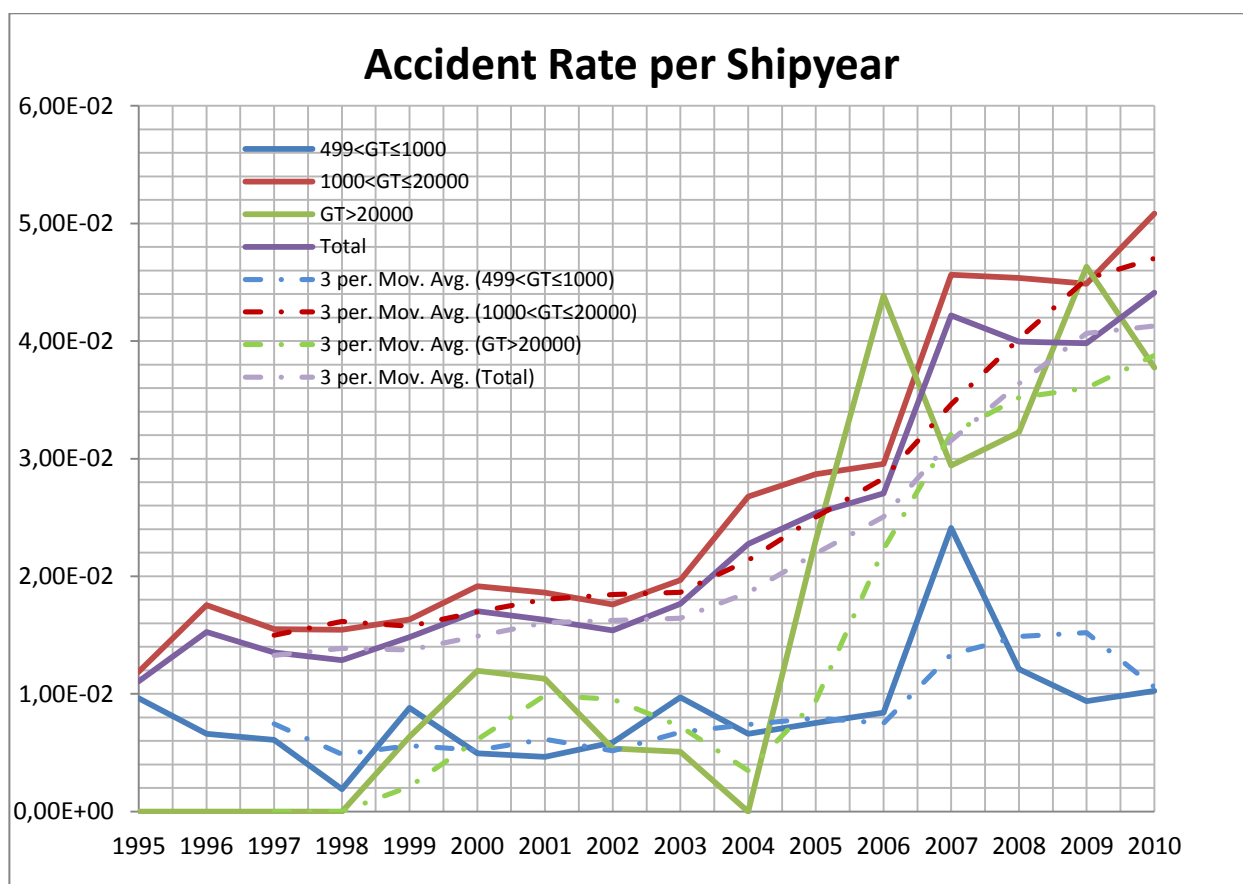
Από τις παραπάνω ιδιότητες, η πιο σημαντική είναι η validity και την ακολουθεί η optimality. Η invariance είναι μια ιδιότητα που χαρακτηρίζει περισσότερο την παραγωγή των c.i και λιγότερο την κατασκευή τους.

Στην περίπτωση της παρούσας ανάλυσης, λόγω της φύσης των ιστορικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, η διωνυμική ανάλυση εμπιστοσύνης (binomial confidence analysis) κρίθηκε προτιμητέα για να οριστούν τα περιθώρια αβεβαιότητας επί των υπολογισμένων μέσων τιμών των διαφόρων μεγεθών. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι σε αρκετές περιπτώσεις τα confidence intervals έχουν μεγάλο μέγεθος σε σχέση με τις αντίστοιχους μέσους όρους. Σε αυτές τις περιπτώσεις, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή όταν χρησιμοποιούνται οι συγκεκριμένες τιμές για θέματα λήψεων αποφάσεων (decision making purposes).

### 3.2 Συχνότητες Ατυχημάτων ανά κατηγορία Ατυχήματος

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να ερευνηθεί το κατά πόσον ένας τύπος ατυχήματος από αυτούς που ορίστηκαν σε προηγούμενη παράγραφο εμφανίζεται συχνότερα ή αραιότερα κατά την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010.

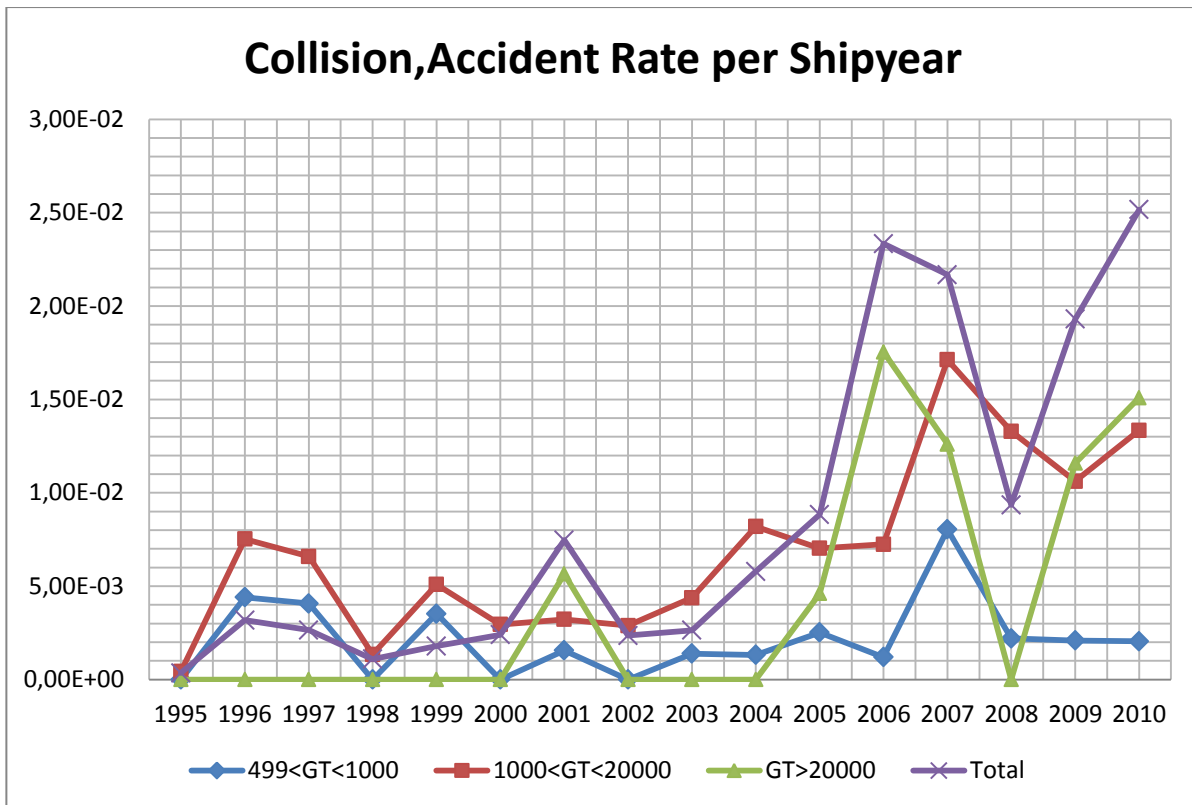
Αρχικά, στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται μια συγκεντρωτική εικόνα των μεταβολών των ετησίων συχνοτήτων για όλες τις κατηγορίες μεγέθους. Στο ίδιο σχήμα απεικονίζονται οι 3-year moving averages, καμπύλες των οποίων τα σημεία είναι ο μέσος όρος των 3 προηγούμενων ετών, ώστε να έχουμε μια πληρέστερη εικόνα της κάθε μεταβολής.



**Σχήμα 3.8:** Ετήσια μεταβολή συχνοτήτων ατυχημάτων για όλες τις κατηγορίες μεγέθους για την περίοδο 1995-2010. Επιπρόσθετα, απεικονίζονται οι 3-year moving averages.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται 6 διαγράμματα το καθένα από τα οποία αφορά σε μια κατηγορία ατυχημάτων.

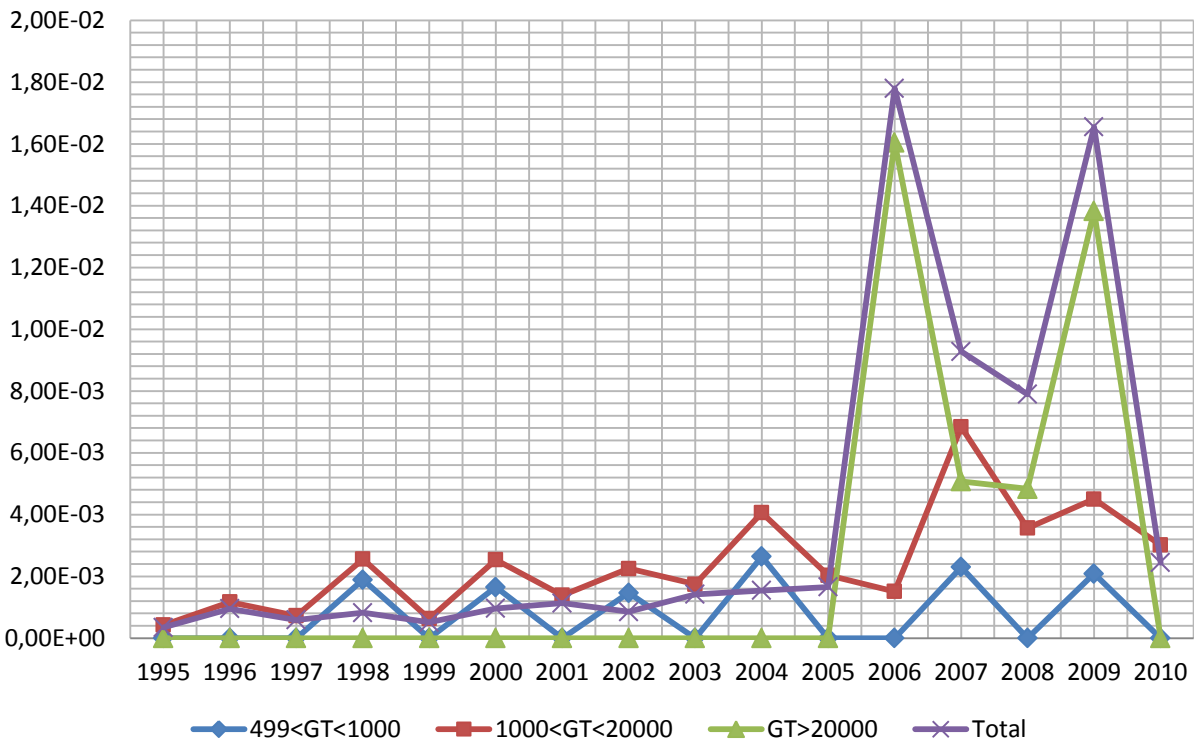




**Σχήμα 3.9:**Ετήσια accident rates για ατυχήματα Collision, για την περίοδο 1995-2010.

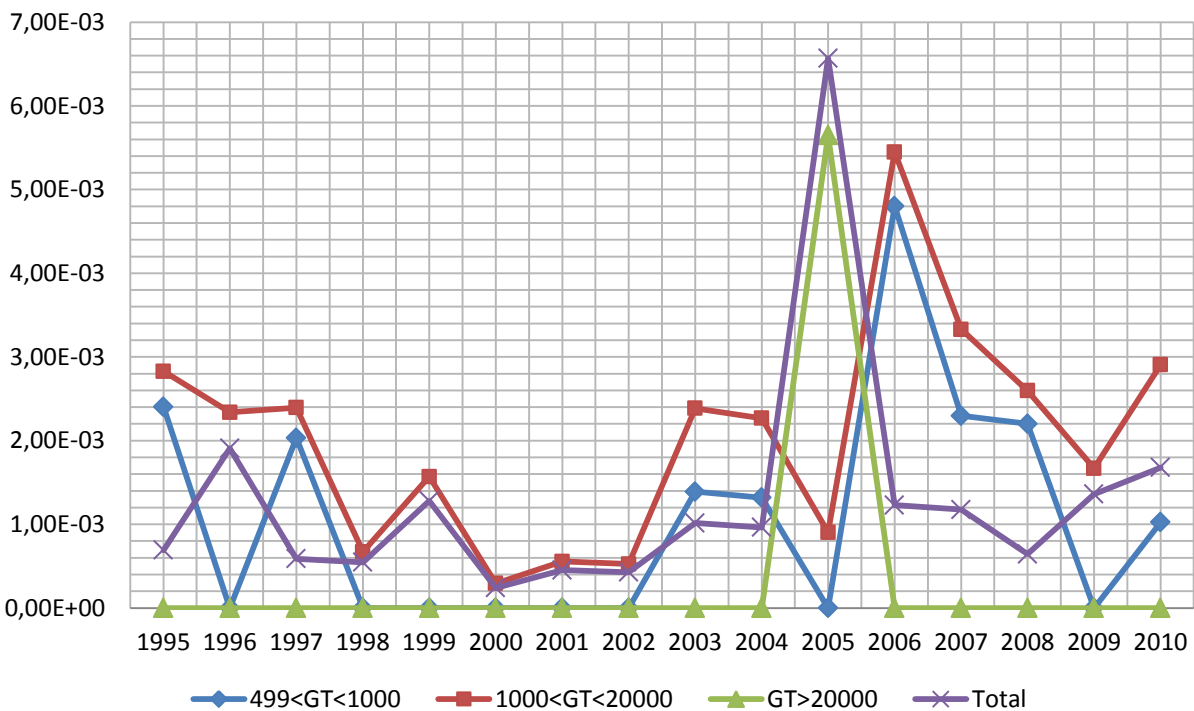
Παρατηρούμε μια σχεδόν συνεχή ανοδική πορεία των rates με την κατηγορία  $499 < GT \leq 1000$  να εμφανίζει τα μικρότερα επίπεδα συχνότητας. Οι άλλες δύο κατηγορίες εμφανίζουν μεγαλύτερες συχνότητες ατυχημάτων, η κάθε μια για διαφορετικό λόγο όμως. Η κατηγορία  $1000 < GT \leq 20000$  διότι συγκεντρώνει το μεγαλύτερο αριθμό των ατυχημάτων ενώ αυτή με  $GT > 20000$  συγκεντρώνει το μικρότερο αριθμό Shipyears. Στις επόμενες 2 κατηγορίες παρατηρούμε ότι σε αρκετά έτη η καμπύλη Total βρίσκεται κάτω από τις άλλες. Κάτι τέτοιο μπορεί να φαντάζει παράλογο, όμως δεν είναι διότι ο αριθμός των ατυχημάτων είναι μικρός σε κάθε περίπτωση και όταν αυτά αθροίζονται παραμένει μικρός. Σε αντίθεση τα Shipyears όταν αθροίζονται δίνουν αρκετά μεγάλους αριθμούς με τελικό αποτέλεσμα τη μείωση των συχνότητων ατυχημάτων.

### Contact, Accident Rate per Shipyear



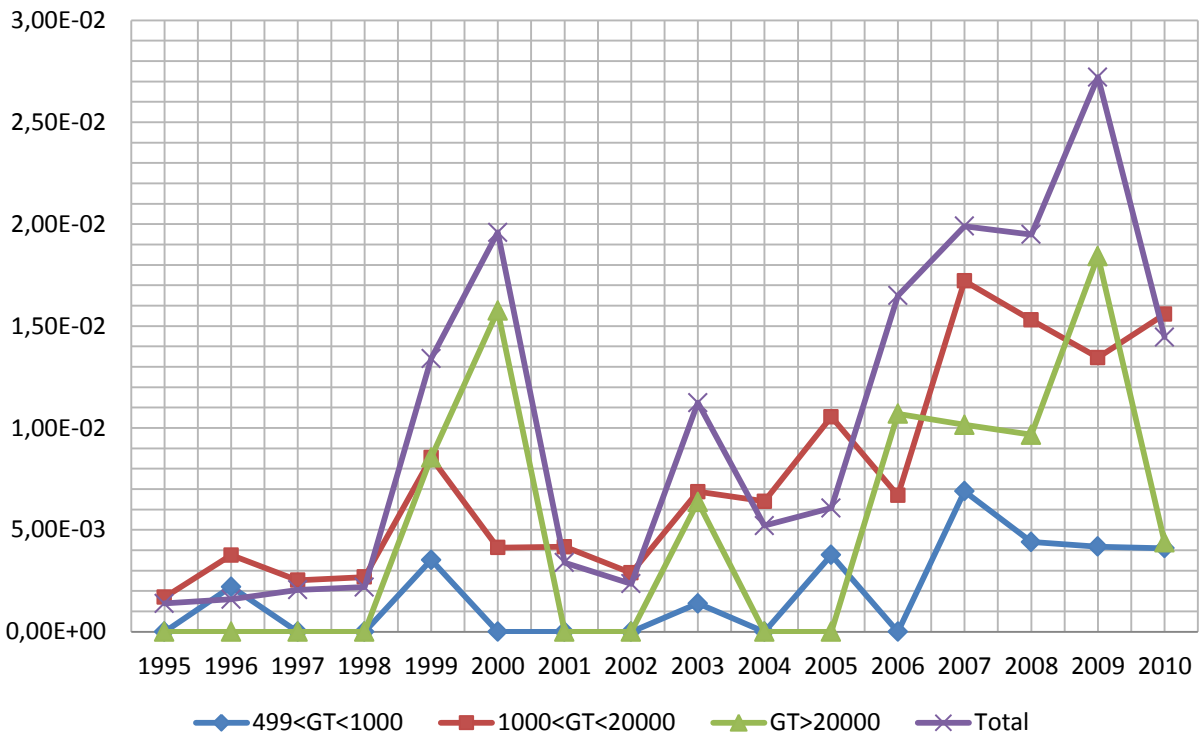
Σχήμα 3.10: Ετήσια accident rates για ατυχήματα Contact, για την περίοδο 1995-2010.

### Foundering, Accident Rate per Shipyear



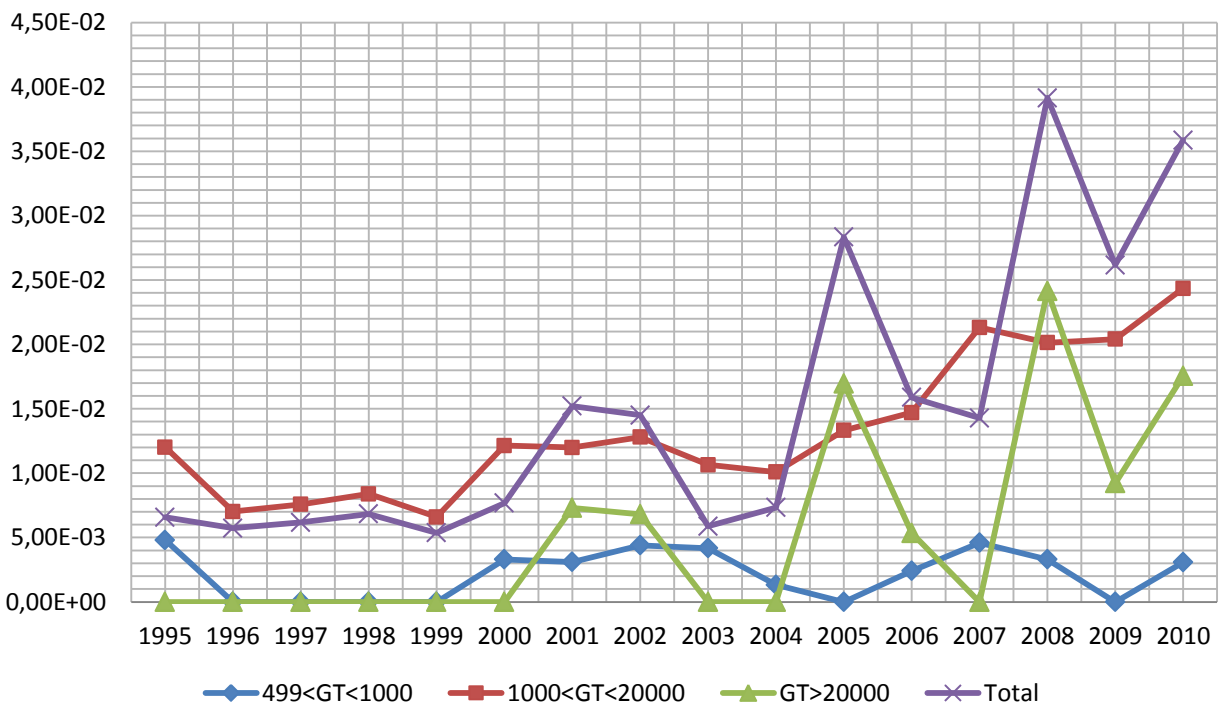
Σχήμα 3.11: Ετήσια accident rates για ατυχήματα Foundering, για την περίοδο 1995-2010.

### Wrecked/Stranded, Accident Rate per Shipyear



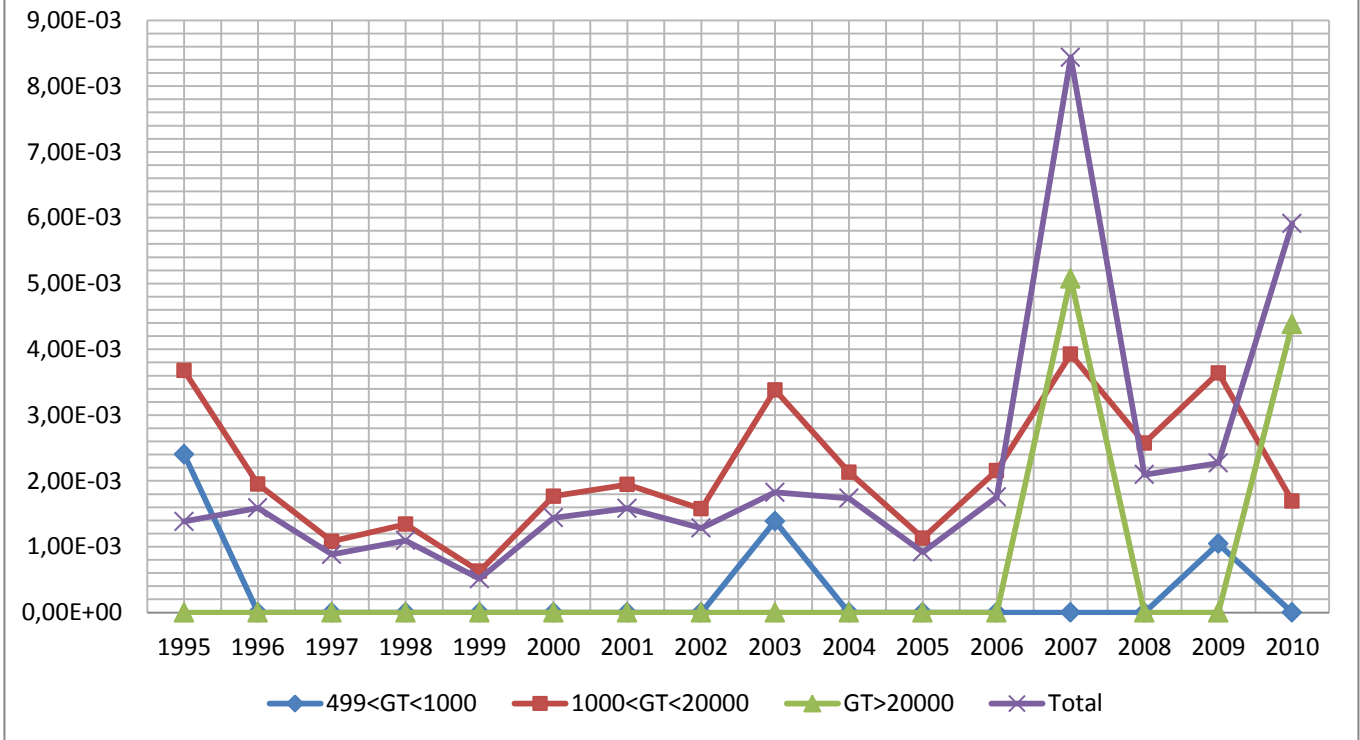
Σχήμα 3.12: Ετήσια accident rates για ατυχήματα Wrecked/Stranded, για την περίοδο 1995-2010.

### Hull/Machinery, Accident Rate per Shipyear



Σχήμα 3.13: Ετήσια accident rates για ατυχήματα Hull/Machinery, για την περίοδο 1995-2010.

### Fire/Explosion, Accident Rate per Shipyear

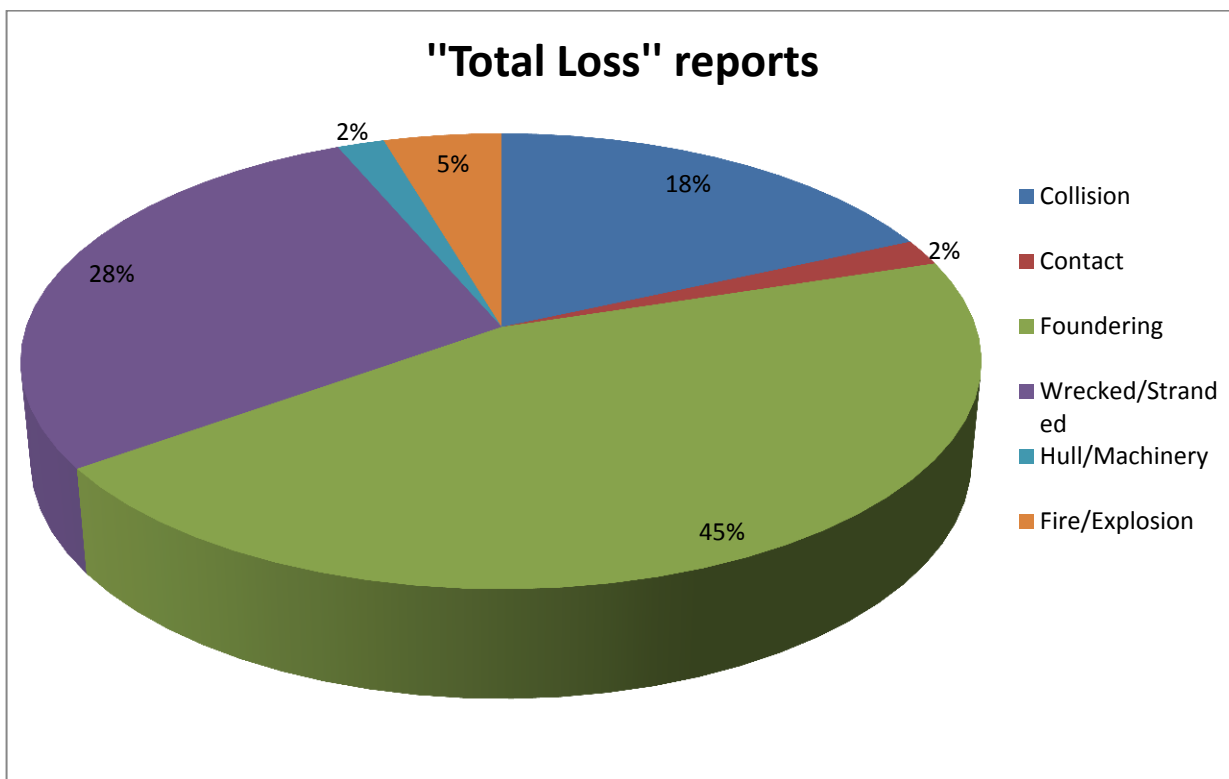


Σχήμα 3.14: Ετήσια accident rates για ατυχήματα Fire/Explosion, για την περίοδο 1995-2010.

Και στις τρεις τελευταίες κατηγορίες παρατηρείται μια ανοδική πορεία. Τα ατυχήματα Hull/Machinery damage Wrecked/Stranded συγκροτούν το μεγαλύτερο αριθμό επί των συνολικών ατυχημάτων. Κατά συνέπεια, εμφανίζουν και τις μεγαλύτερες συχνότητες.

### 3.3 Ολικές Απώλειες Πλοίων/Πλοία•Έτη για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010

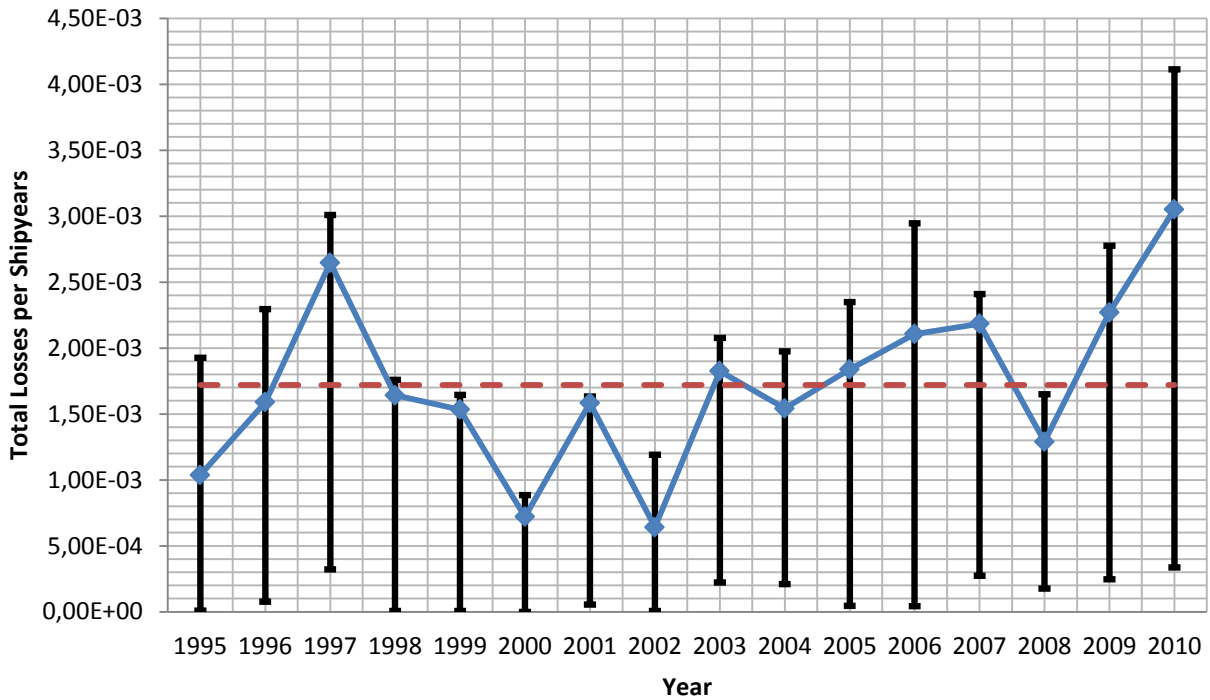
Για την περίοδο 1995-2010 καταγράφηκαν 137 περιπτώσεις total loss, δηλαδή ατυχήματα που είχαν ως συνέπεια την ολική απώλεια του πλοίου. Για να ερευνηθεί ποια κατηγορία ατυχημάτων είναι η πιο σοβαρή, τα στοιχεία της βάσης δεδομένων συγκεντρώθηκαν ανά τύπο ατυχήματος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο επόμενο γράφημα.



Σχήμα 3.15: Κατανομή των ατυχημάτων που οδήγησαν σε απώλεια του πλοίου για την περίοδο 1995-2010 (GT>499).

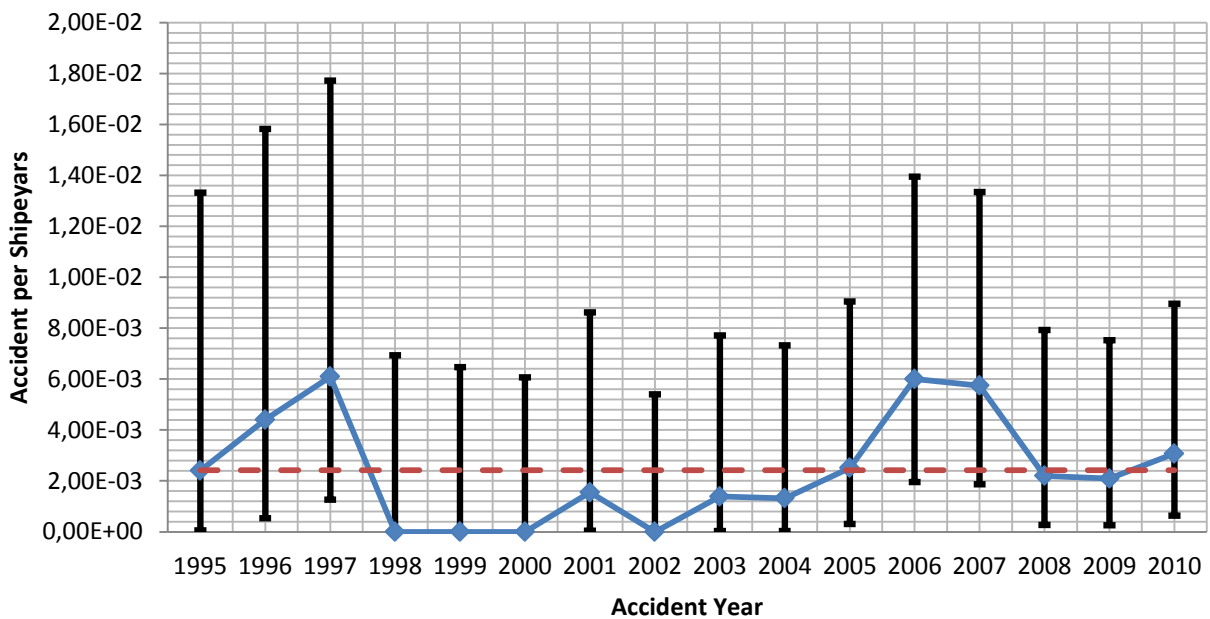
Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό συγκεντρώνουν τα ατυχήματα Foundering με 45%, ενώ καταλαμβάνουν μόλις το 3,77% των συνολικών ατυχημάτων. Αυτό υποδεικνύει τη σοβαρότητα των συγκεκριμένων ατυχημάτων. Ακολουθούν τα ατυχήματα Wrecked/Stranded και Collision με 28% και 18% αντίστοιχα. Εντύπωση επίσης προκαλεί το γεγονός πως τα ατυχήματα Hull/Machinery ενώ αποτελούν το 40% περίπου των συνολικών ατυχημάτων ευθύνονται μόλις για το 2% των total losses. Στη συνέχεια, ακολουθούν γραφήματα που απεικονίζουν τις ετήσιες συχνότητες total loss για κάθε κατηγορία μεγέθους πλοίων τύπου Γ/Φ, παρόμοια με αυτά που προηγήθηκαν για τις συχνότητες ατυχημάτων. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται ο μέσος όρος της κάθε κατηγορίας, ενώ με μαύρο τα 95% confidence intervals.

### Average Total Loss Frequency

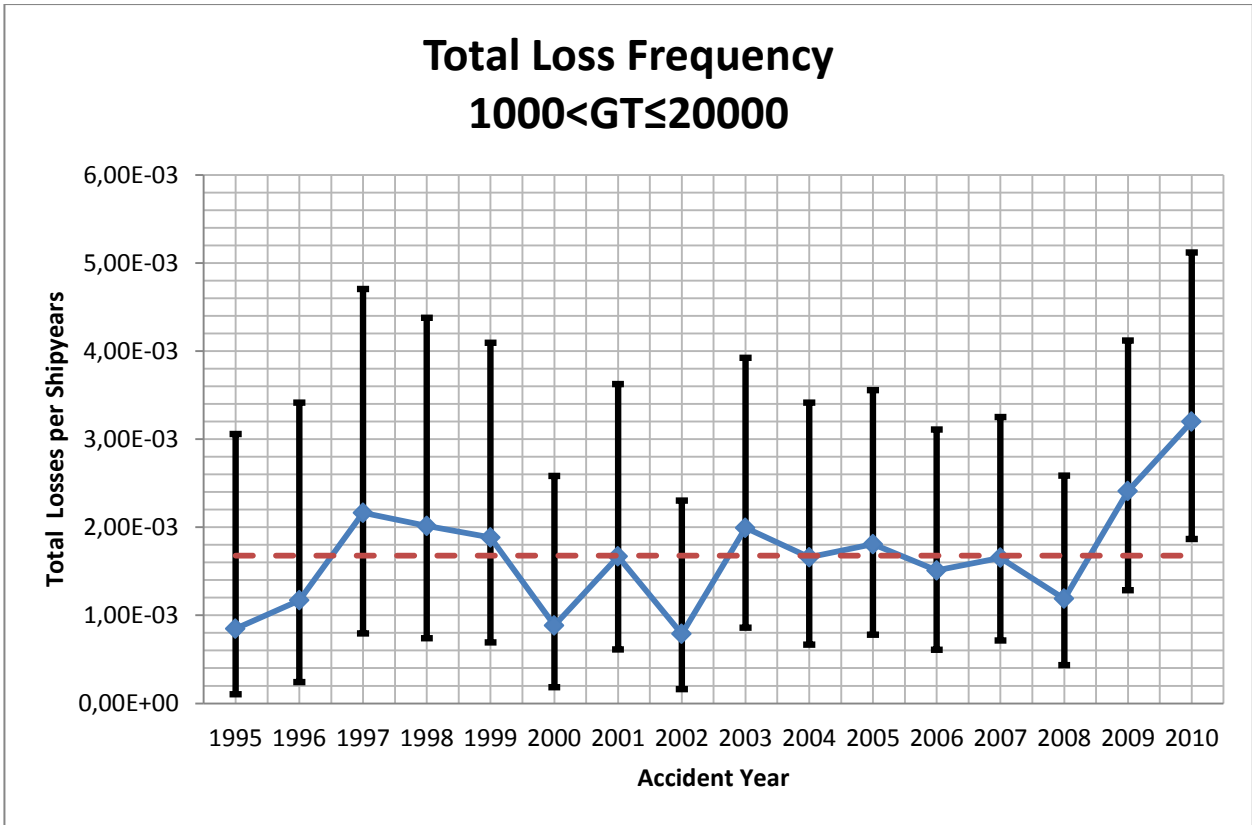


Σχήμα 3.16: Ετήσιες συχνότητες total loss για την περίοδο 1995-2010, πλοία με  $GT > 499$ . Απεικονίζονται τα 95% c.i και ο μέσος όρος της περιόδου.

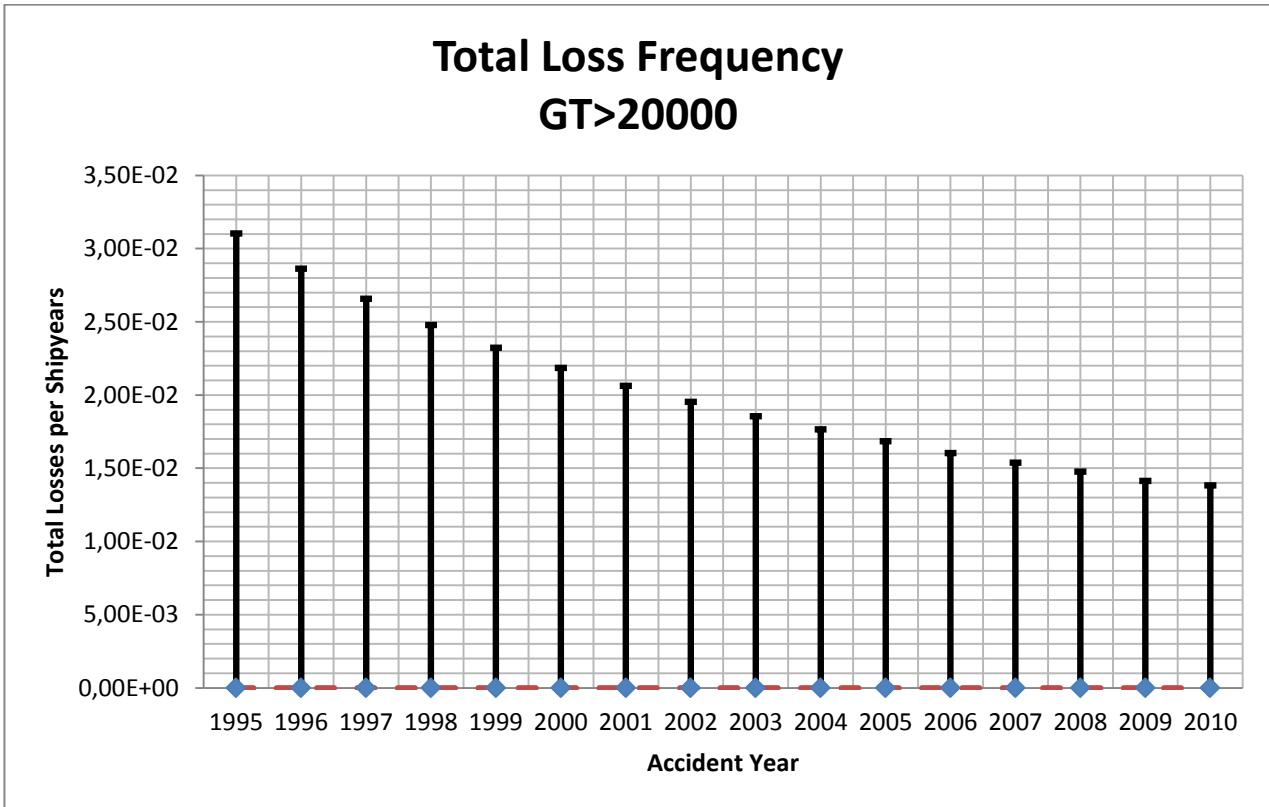
### Total Loss Frequency 499 < GT ≤ 1000



Σχήμα 3.17: Ετήσιες συχνότητες total loss για την περίοδο 1995-2010, πλοία με  $499 < GT \leq 1000$ . Απεικονίζονται τα 95% c.i και ο μέσος όρος της περιόδου.



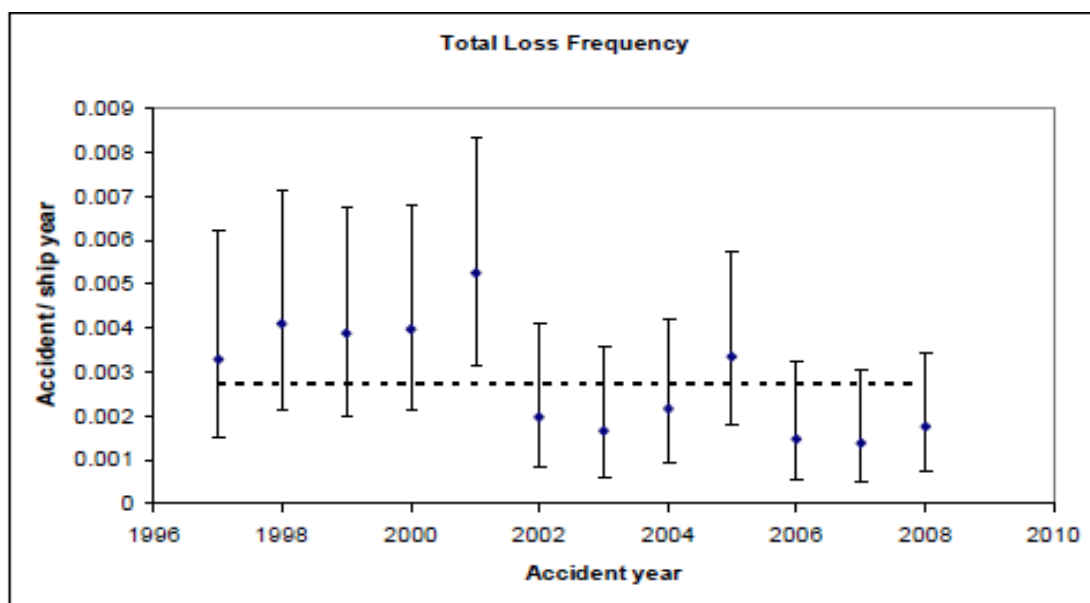
**Σχήμα 3.18:** Ετήσιες συχνότητες total loss για την περίοδο 1995-2010,πλοία με 1000<GT≤20000. Απεικονίζονται τα 95% ε.ι και ο μέσος όρος της περιόδου.



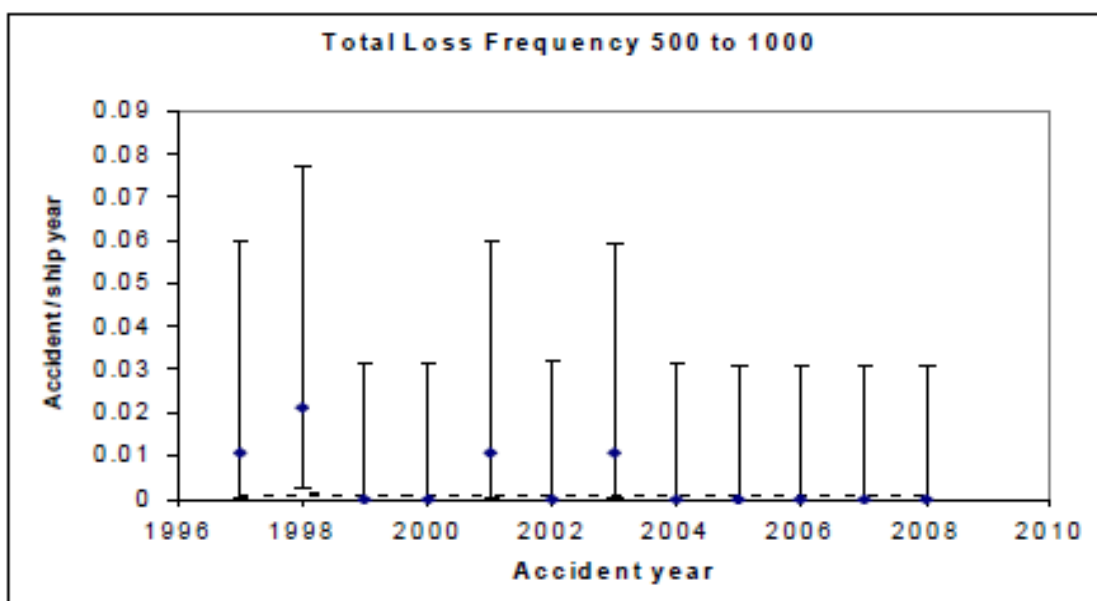
**Σχήμα 3.19:** Ετήσιες συχνότητες total loss για την περίοδο 1995-2010,πλοία με GT>20000. Απεικονίζονται τα 95% ε.ι και ο μέσος όρος της περιόδου.

Για το σύνολο των Shipyears της μελέτης(76840) η μέση συχνότητα ατυχημάτων με συνέπεια την ολική απώλεια του πλοίου είναι  $1,72 \cdot 10^{-3}$ . Οι ετήσιες συχνότητες total loss εναλλάσσονται άνωθεν και κάτωθεν της μέσης τιμής τόσο για το σύνολο των περιπτώσεων όσο και γι'αυτές της κατηγορίας  $1000 < GT \leq 20000$  που αποτελεί και τη μεγάλη πλειοψηφία του συνόλου. Για την κατηγορία πλοίων με  $499 < GT \leq 1000$ , καταγράφηκαν 25 περιπτώσεις total loss γεγονός σε συνδυασμό με τον μικρό αριθμό Shipyears αυτής της κατηγορίας, έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση συχνοτήτων υψηλότερων σε σχέση με το σύνολο των πλοίων. Για την τελευταία κατηγορία πλοίων με  $GT > 20000$  δεν καταγράφηκε ούτε μία περίπτωση total loss για την περίοδο 1995-2010, για πλοία κατασκευής από το 1985 και μετά. Σημειώνεται ότι τα μεγάλου μήκους confidence intervals εκφράζουν μεγάλη στατιστική αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων.

Για περαιτέρω αξιολόγηση των αποτελεσμάτων παρατίθενται τα αντίστοιχα διαγράμματα της μελέτης του IACS.

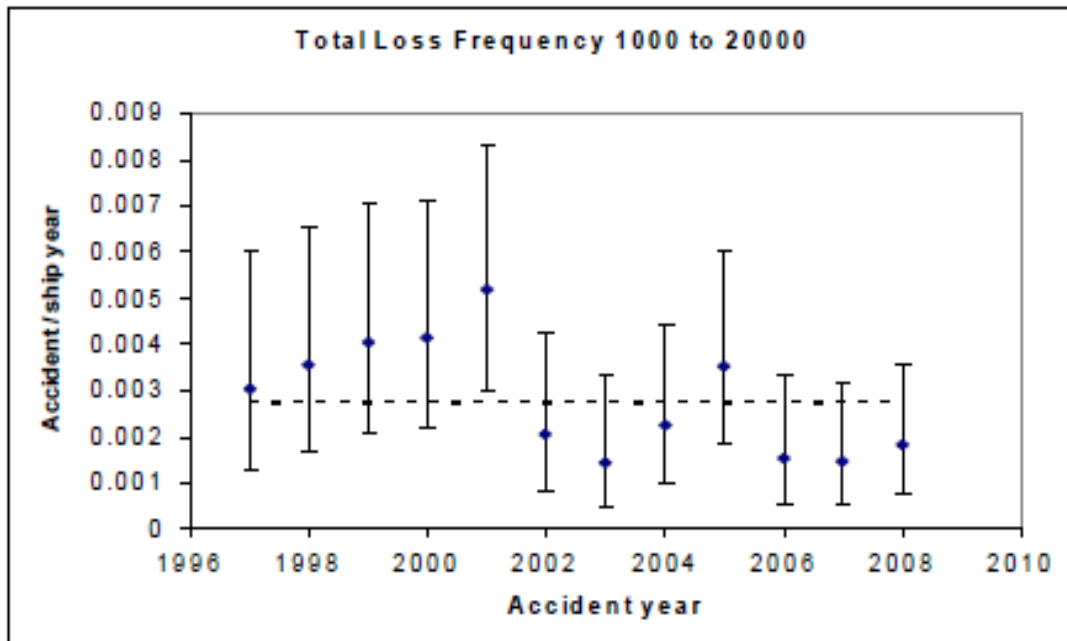


Σχήμα 3.20(α): Αποτελέσματα μελέτης IACS για τις συχνότητες total loss για το σύνολο των πλοίων.

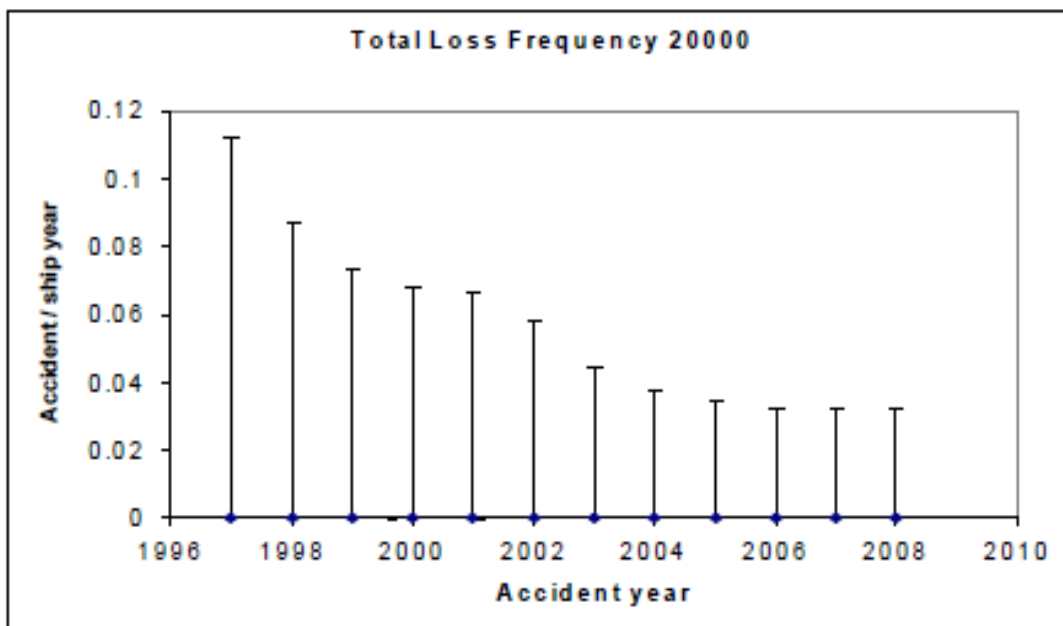


Σχήμα 3.20(β): Αποτελέσματα μελέτης IACS για τις συχνότητες total loss για τα πλοία με GT 500-1000.





Σχήμα 3.20(γ): Αποτελέσματα μελέτης IACS για τις συχνότητες total loss για τα πλοία με GT 1000-20000.

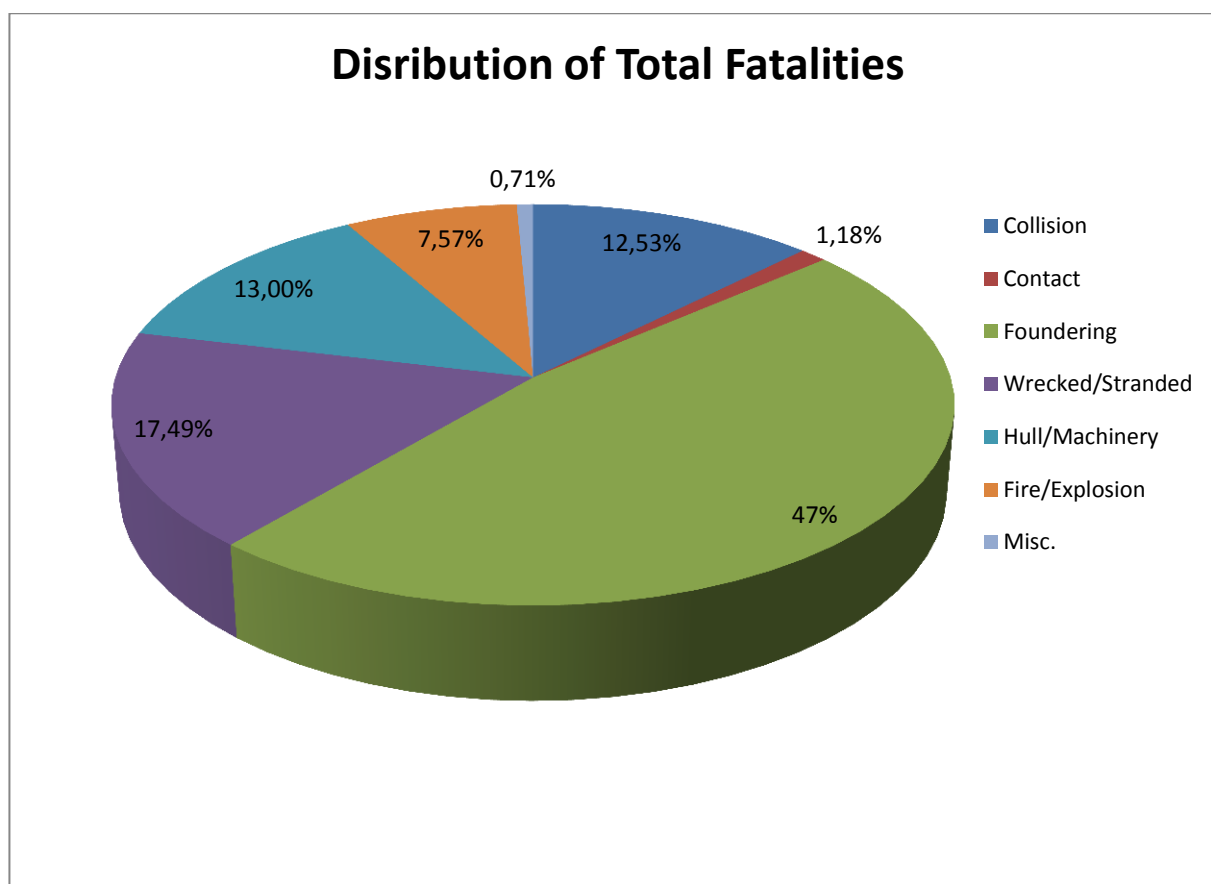


Σχήμα 3.20(δ): Αποτελέσματα μελέτης IACS για τις συχνότητες total loss για τα πλοία με GT>20000.

Σχολιάζοντας το σύνολο των αποτελεσμάτων, καταλήγουμε στο γεγονός πως οι συχνότητες που υπολογίστηκαν στα πλαίσια της εργασίας είναι πολύ κοντινές σε αυτές που προέκυψαν από τη μελέτη του IACS. Και στις 2 περιπτώσεις δε βρέθηκαν περιπτώσεις total loss για πλοία με GT>20000. Οι υπολογισμένες συχνότητες στη μελέτη του IACS είναι ελάχιστα μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες της εργασίας αλλά αυτό δικαιολογείται από το γεγονός πως σε αντίθεση με την έρευνα του IACS που αφορά πλοία κλάσεων που ανήκουν σε αυτόν, στη εργασία δεν γίνεται διαχωρισμός των κλάσεων. Κατά συνέπεια τα πλοία•έτη είναι περισσότερα στη δική μας περίπτωση και άρα οι συχνότητες προκύπτουν μικρότερες.

### 3.4 Ανθρώπινες απώλειες/Πλοία•Έτη για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010

Στην παρούσα μελέτη ως ανθρώπινες απώλειες (fatalities) ορίζεται το άθροισμα των αριθμών των κατηγοριών 'killed' και 'missing', όπως προέκυψαν από τα δεδομένα της Sea-Web. Για την περίοδο που αφορά η έρευνα, δηλαδή από 01/01/1995 μέχρι 31/12/2010, καταγράφηκαν 182 νεκροί και 241 αγνοούμενοι. Συνεπώς, προέκυψαν 423 fatalities. Ο αριθμός των αντίστοιχων αναφορών ήταν 42 για την κατηγορία 'killed' και 44 την κατηγορία 'missing', με τα 18 ζεύγη να αναφέρονται στο ίδιο κάθε φορά ατύχημα. Επομένως, καταγράφηκαν συνολικά 68 ατυχήματα. Στο παρακάτω γράφημα απεικονίζεται η κατανομή των fatalities στους διάφορους τύπους ατυχημάτων. Κυρίαρχο ποσοστό καταλαμβάνουν τα ατυχήματα Foundering (47%), όπως ακριβώς και στην περίπτωση των total losses. Ακολουθούν με ποσοστά 17,5%, 13%, 12,5% και 7,5% τα ατυχήματα Wrecked/Stranded, Hull/Machinery damage, Collision και Fire/Explosion αντίστοιχα, ενώ τα ατυχήματα Contact οδηγούν μόλις στο 1% των συνολικών fatalities.



**Σχήμα 3.21:** Κατανομή των ατυχημάτων που οδήγησαν σε ανθρώπινες απώλειες για την περίοδο 1995-2010 (GT > 499).

Στον επόμενο πίνακα, παρουσιάζεται ο αριθμός των ατυχημάτων κάθε τύπου που είχαν συνέπειες ανθρώπινες απώλειες. Επιβεβαιώνεται ότι τα ατυχήματα Foundering είναι αυτά που προκαλούν κατά μ.ο τις περισσότερες συνέπειες, εν προκειμένω ανθρώπινες απώλειες.

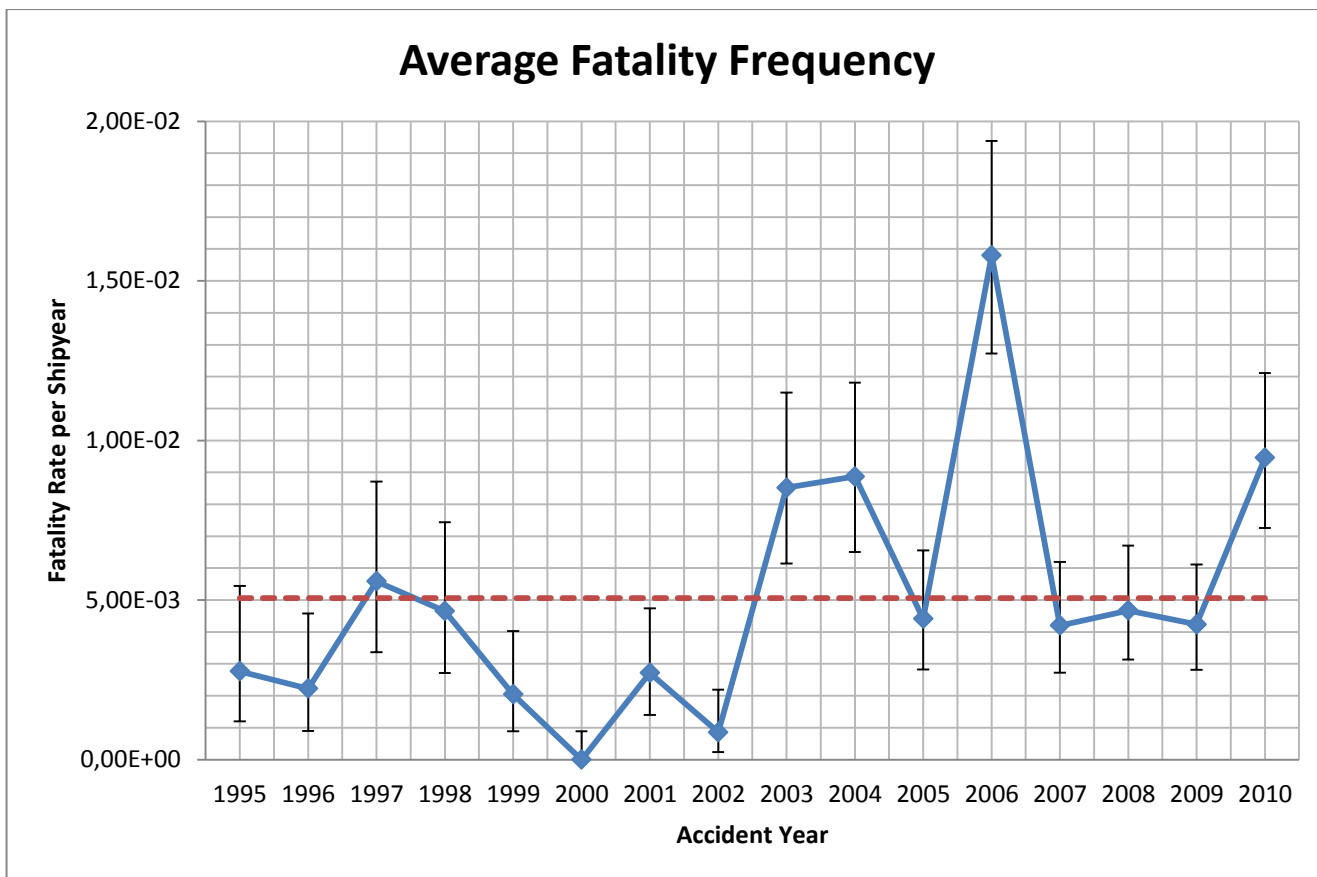
**Πίνακας 3.1:** Αριθμός ατυχημάτων με fatalities και μέσος αριθμός fatalities/ατύχημα για κάθε τύπο ατυχήματος (πλοία τύπου Γ/Φ, GT>499, για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010).

Κατηγορία Ατυχήματος	Αριθμός Ατυχημάτων	Συνολικός αριθμός fatalities	Fatalities/ατύχημα
Collision	13	53	4,08
Contact	3	5	1,67
Foundered	13	201	15,46
Wrecked/Stranded	9	74	8,22
Hull/Machinery	18	55	3,06
Fire/Explosion	11	32	2,91
Miscellaneous	1	3	3

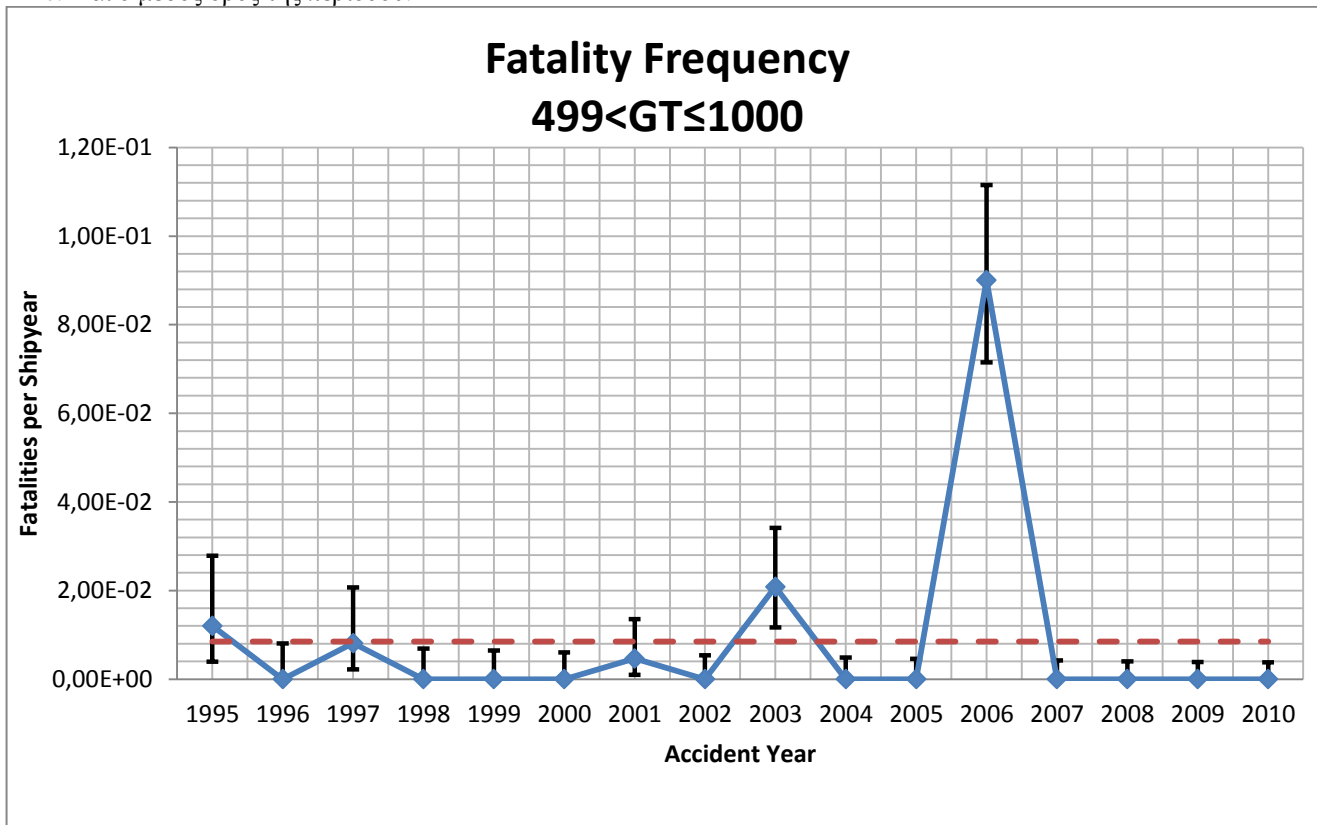
Στη συνέχεια, παρατίθενται τα διαγράμματα ετήσια μεταβολής των fatalities για το σύνολο των πλοίων της μελέτης, αλλά και για κάθε κατηγορία μεγέθους ξεχωριστά. Στα γραφήματα, απεικονίζονται τόσο τα 95% confidence intervals, όσο και ο μέσος όρος των fatalities κάθε κατηγορίας για την υπό εξέταση περίοδο. Η μέση συχνότητα fatalities για την περίοδο που εξετάστηκε είναι  $5,06 \cdot 10^{-3}$ . Αυτό που προξενεί εντύπωση είναι ότι μέχρι το 2002 οι ετήσιες συχνότητες βρίσκονται κάτω του μέσου όρου, και από το 2003 εμφανίζεται μια σταδιακή άνοδος των fatality rates. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως αφενός, υπάρχει καλύτερη και πληρέστερη καταγραφή των ατυχημάτων τα τελευταία χρόνια, αφετέρου πρέπει ακόμη να γίνουν σημαντικά βήματα στον τομέα της ασφάλειας των πλοίων τύπου Γ/Φ για να μειωθούν οι ανεπιθύμητες από όλους ανθρώπινες απώλειες.

Στο σημείο αξίζει να αναφερθούμε στα ατυχήματα της περιόδου που είχαν τις μεγαλύτερες συνέπειες.

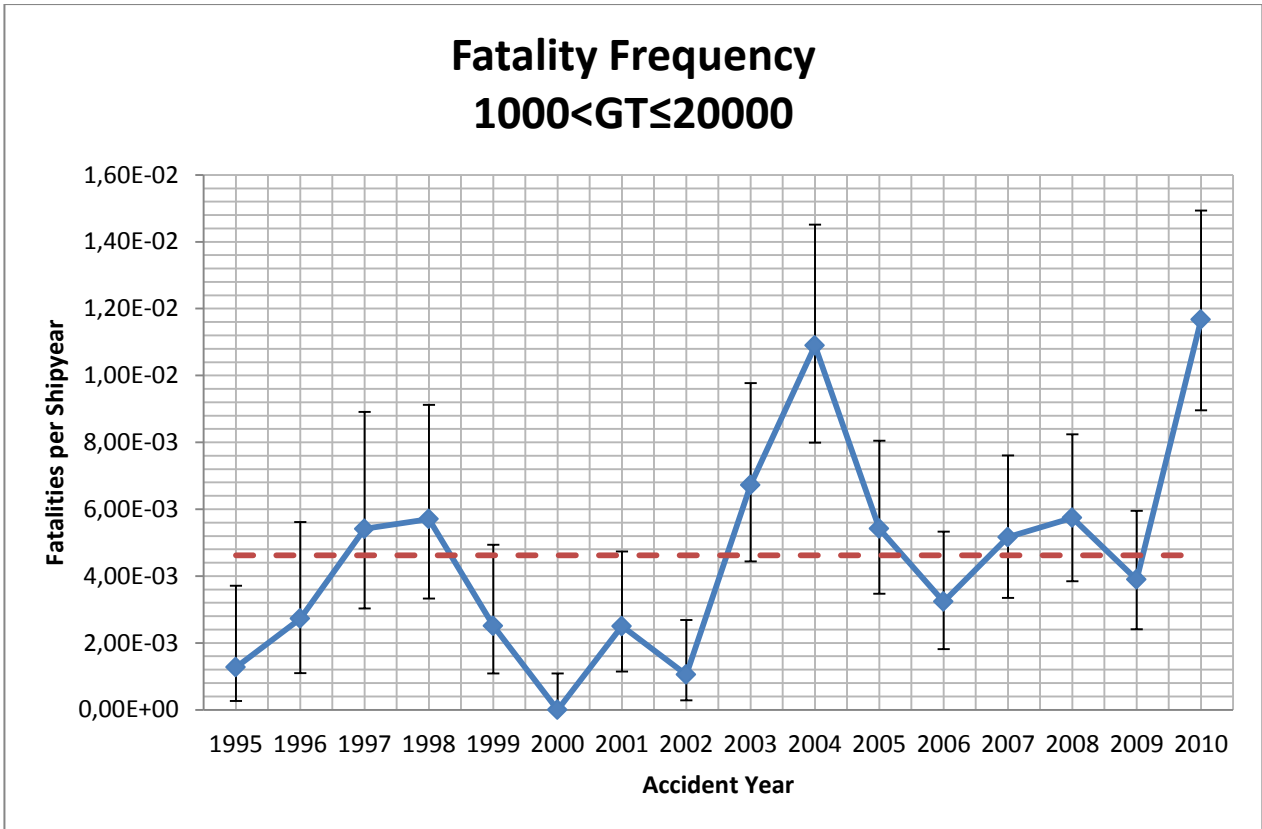
- ❖ Το πλοίο 'AL MUBARAK' με GT=550, υπό καθεστώς flag unknown, δηλαδή με άγνωστη σημαία είχε ατύχημα τύπου Foundering στις 9/9/2006, στη γεωγραφική ζώνη 'West Africa Coast'. Συνέπεια του ατυχήματος ήταν να χάσουν τη ζωή τους 40 άτομα, ενώ άλλα 6 ήταν αγνοούμενοι. Το πλοίο ήταν κατασκευής του 1992.
- ❖ Το πλοίο TRI ARHDANTO, με σημαία Ινδονησίας και GT=6315, είχε ατύχημα τύπου Wrecked/Stranded στις 7/9/2004, στη γεωγραφική ζώνη China, Japan & Korea με συνέπεια 20 νεκρούς. Έτος κατασκευής του πλοίου ήταν το 1992.
- ❖ Τέλος, ένα ατύχημα για το οποίο δεν καταγράφηκαν νεκροί, αλλά 29 άνθρωποι ήταν αγνοούμενοι έλαβε χώρα στις 2/4/2006 στη γεωγραφική ζώνη South China and East Indies. Το πλοίο NEW FUJI, με GT=662, έτος κατασκευής το 1986 και σημαία Ινδονησίας είχε ατύχημα τύπου Foundering.



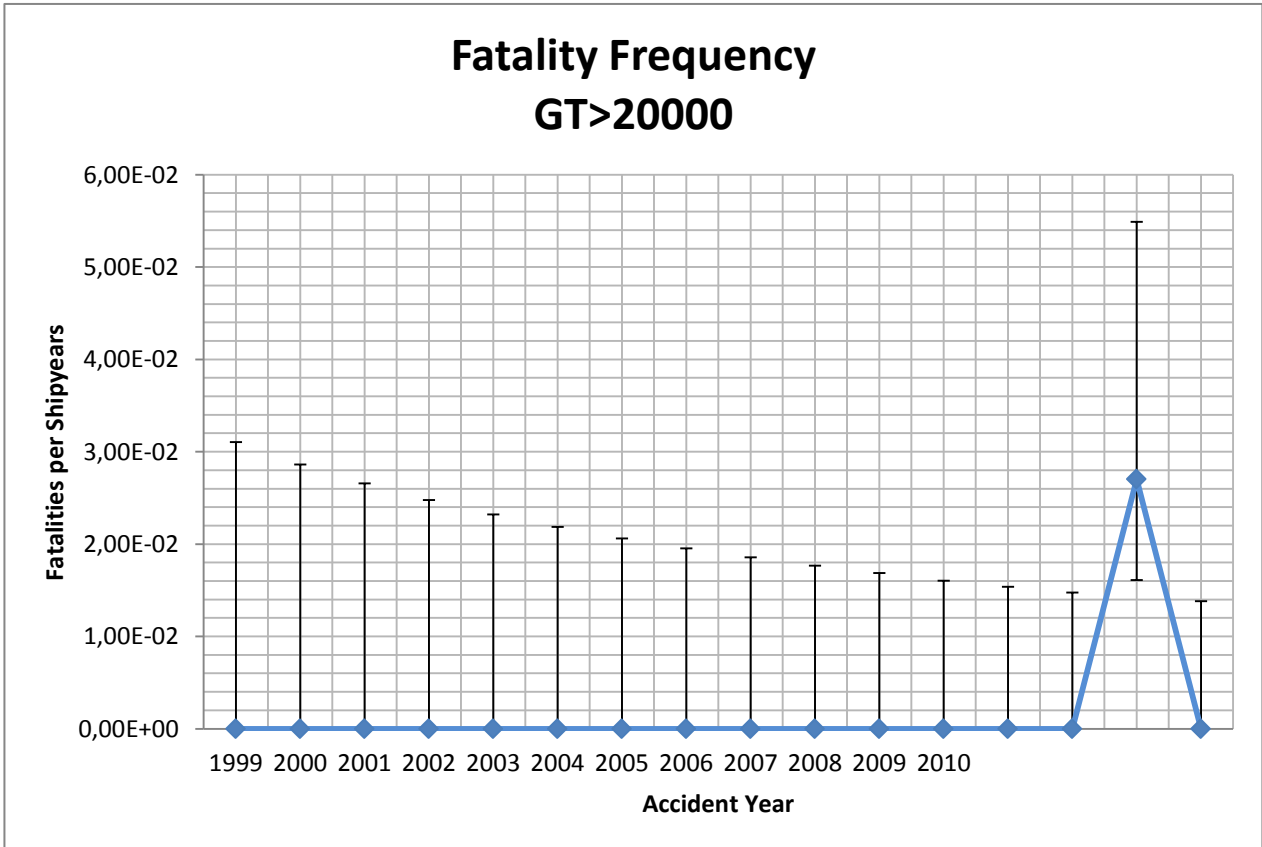
**Σχήμα 3.22** Ετήσιες συχνότητες fatalities για την περίοδο 1995-2010,πλοία με GT>499. Απεικονίζονται τα 95% c.i και ο μέσος όρος της περιόδου.



**Σχήμα 3.23:** Ετήσιες συχνότητες fatalities για την περίοδο 1995-2010,πλοία με 499<GT≤1000.Απεικονίζονται τα 95% c.i και ο μέσος όρος της περιόδου.

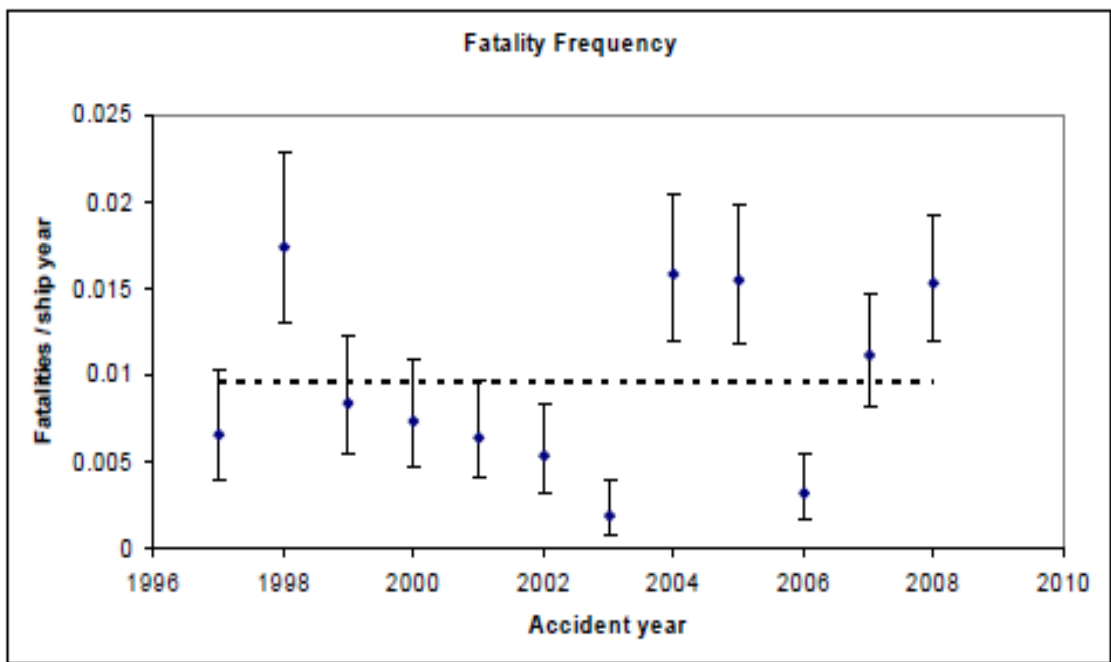


**Σχήμα 3.24:** Ετήσιες συχνότητες fatalities για την περίοδο 1995-2010,πλοία με 1000<GT≤20000.Απεικονίζονται τα 95% c.i και ο μέσος όρος της περιόδου.

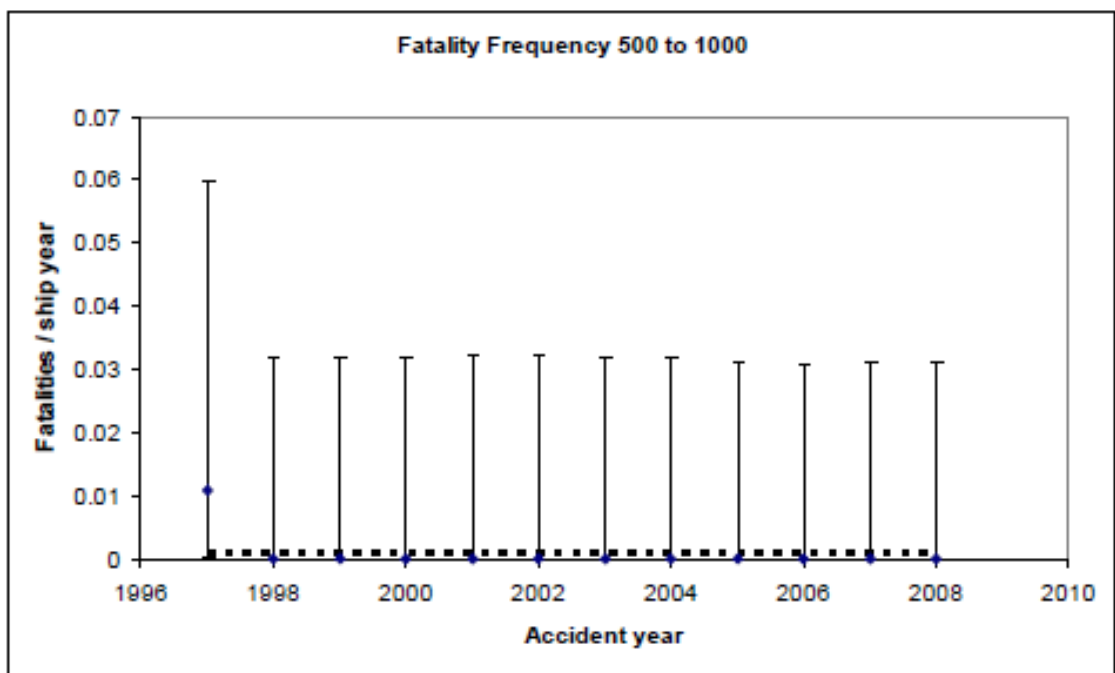


**Σχήμα 3.25:** Ετήσιες συχνότητες fatalities για την περίοδο 1995-2010,πλοία με GT>20000.Απεικονίζονται τα 95% c.i και ο μέσος όρος της περιόδου.

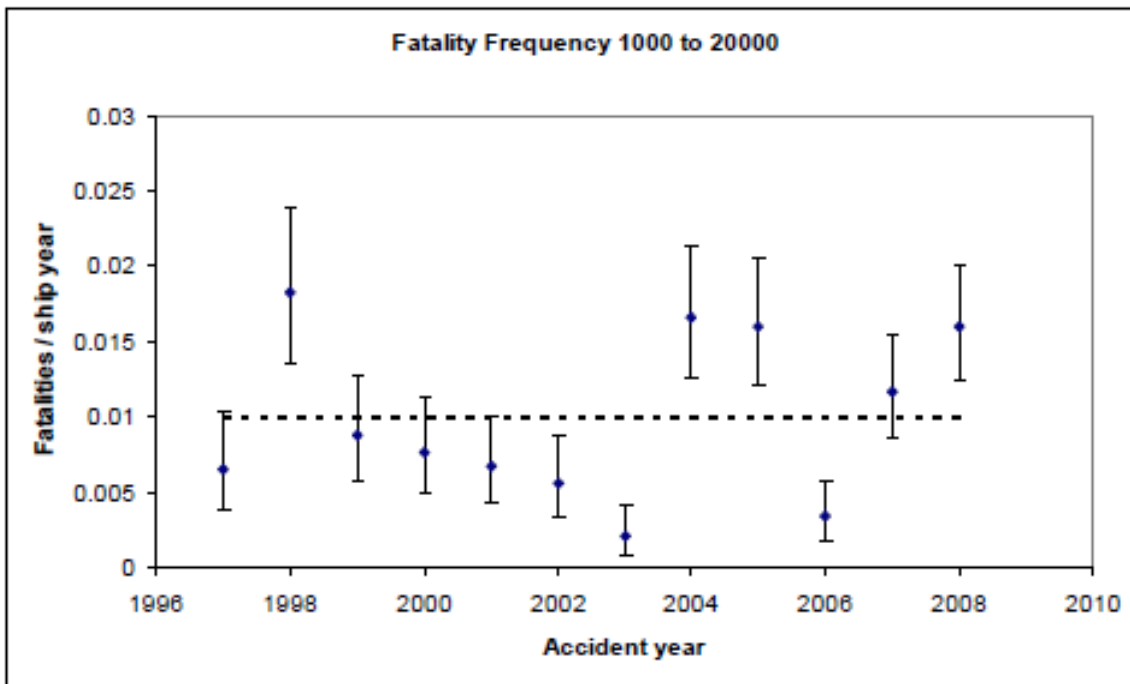
Για περαιτέρω αξιολόγηση των αποτελεσμάτων παρατίθενται τα αντίστοιχα διαγράμματα της μελέτης του IACS που παρουσιάστηκε στη MSC87/Inf 3.



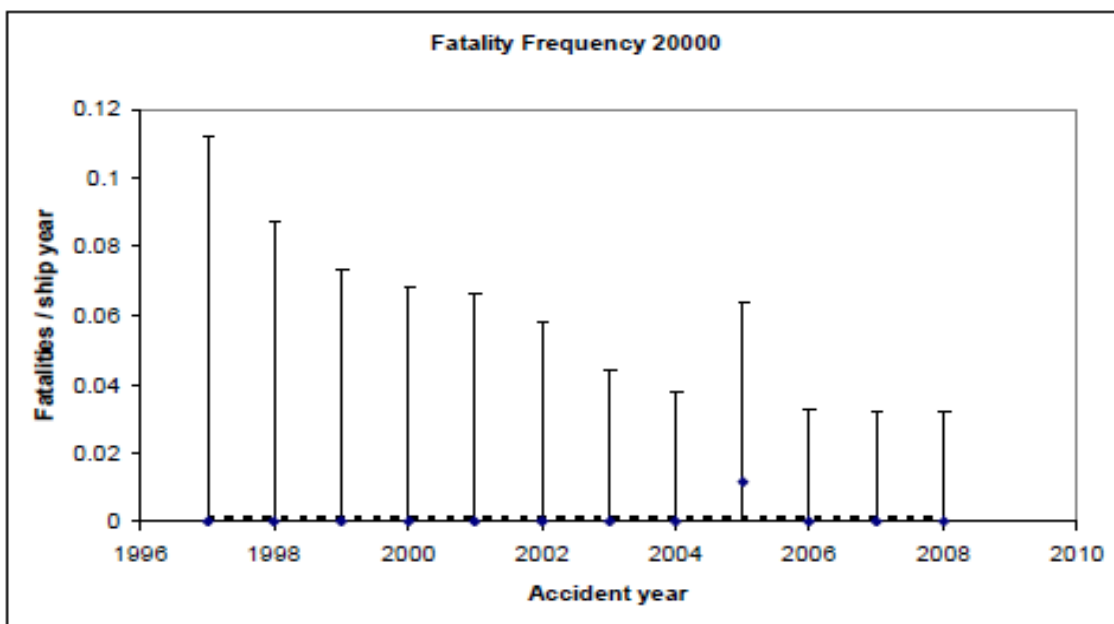
Σχήμα 3.26: Αποτελέσματα μελέτης IACS για τις συχνότητες των fatalities για το σύνολο των πλοίων.



Σχήμα 3.27: Αποτελέσματα μελέτης IACS για τις συχνότητες των fatalities για τα πλοία με GT 500-1000.



Σχήμα 3.28: Αποτελέσματα μελέτης IACS για τις συχνότητες των fatalities για τα πλοία με GT 1000-20000.

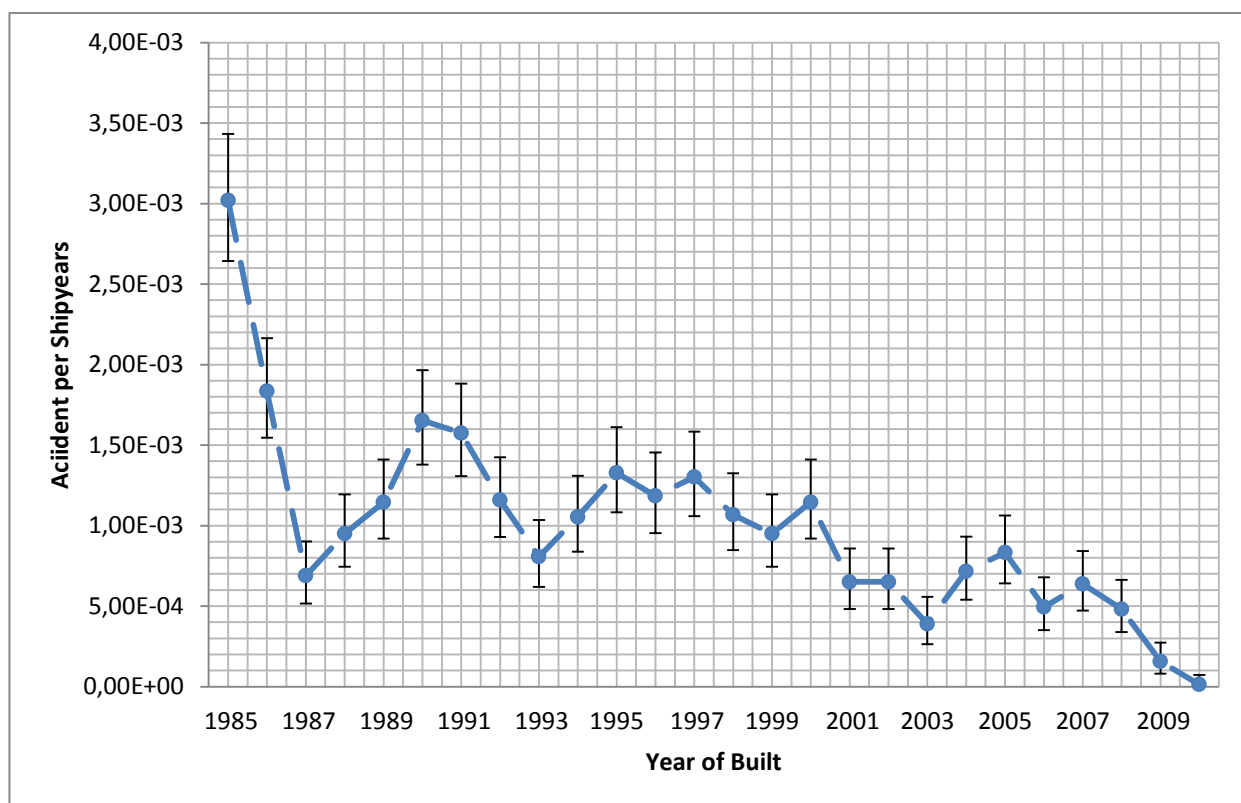


Σχήμα 3.29: Αποτελέσματα μελέτης IACS για τις συχνότητες των fatalities για τα πλοία με GT>20000.

Και στη περίπτωση των συχνότητων των ατυχημάτων που οδήγησαν σε ανθρώπινες απώλειες τα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας είναι πολύ κοντά με αυτά της μελέτης του IACS. Ενδιαφέρον προκαλεί πως στη μικρή όσο και στη μεγάλη κατηγορία μεγέθους οι συχνότητες σχέδον στο σύνολό τους είναι μηδενικές. Διαφορές στις τιμές των συχνότητων για το σύνολο και τη μεσαία κατηγορία, μεταξύ της μελέτης και της διπλωματικής εργασίας, εξηγούνται από το διαφορετικό αριθμό των shipyears. Σημειώνουμε ότι για τη μελέτη του IACS ήταν 43222.

### 3.5 'Σοβαρά Ατυχήματα' ανά Έτος Κατασκευής των Πλοίων

Μια άλλη παράμετρος η σχέση της οποίας με τη συχνότητα των ατυχημάτων αξίζει να ερευνηθεί είναι το έτος κατασκευής-κτίσης του πλοίου. Το επόμενο γράφημα απεικονίζει ακριβώς αυτή τη συσχέτιση. Απεικονίζονται και τα 95% confidence intervals.



Σχήμα 3.30: Αριθμός ατυχημάτων/πλοία•έτη για κάθε έτος κατασκευής εντός της περιόδου 1985-2010. πλοία τύπου Γ/Φ με GT>499.

Μπορούμε να πούμε ότι πλοία σύγχρονης κατασκευής εμφανίζουν μικρότερες συχνότητες σε σχέση με αυτά που είναι κατασκευής της δεκαετίας του 1980. Το συγκεκριμένο όμως οπτικό αποτέλεσμα εξηγείται από το γεγονός πως η μελέτη αφορά ατυχήματα της περιόδου 1995-2010. Επομένως είναι πιο πιθανό ένα πλοίο να είναι κατασκευής του 1985-1995 παρά του 1995-2010, χωρίς αυτό βέβαια να είναι απόλυτο.



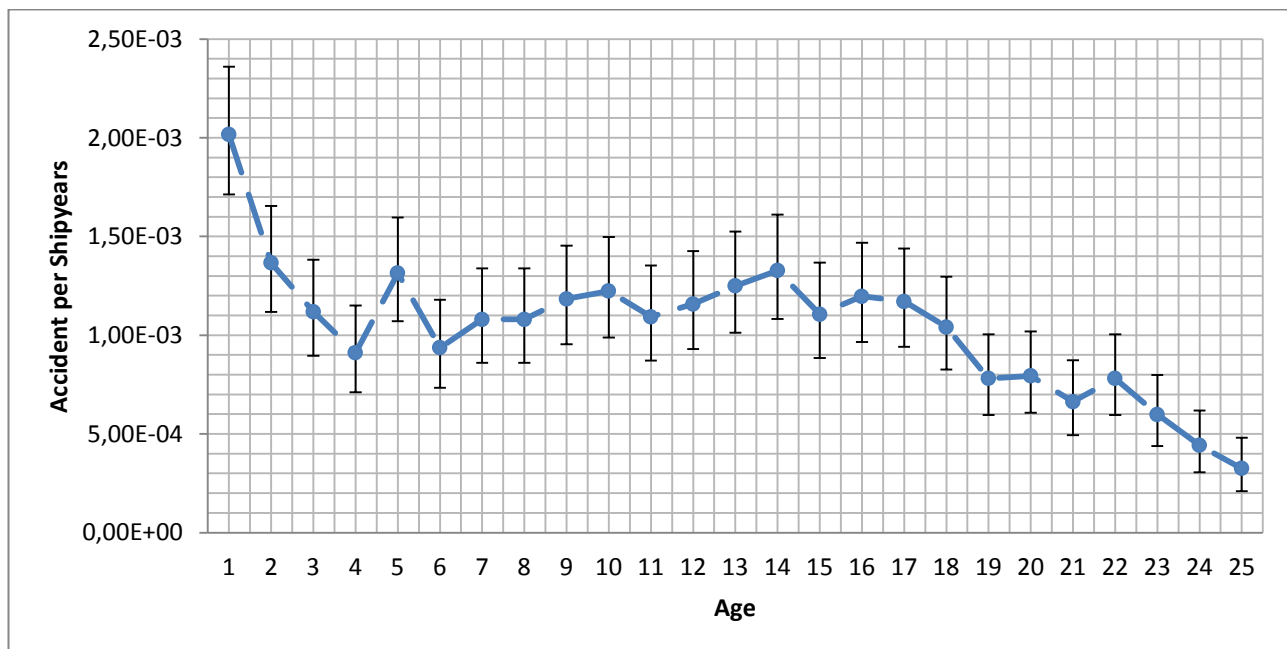
### 3.6 Ηλικία των πλοίων που είχαν 'σοβαρά' ατυχήματα την περίοδο 1995-2010.

Ένας τελευταίος και εξίσου σημαντικός παράγοντας για την ανάλυση ναυτικών ατυχημάτων είναι η ηλικία των πλοίων τη στιγμή του ατυχήματος. Μια συγκεντρωτική εικόνα της σχέσης ηλικίας-μεγέθους πλοίου δίνεται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 3.2:** Κατανομή ατυχημάτων σε ηλικιακά γκρουπ για κάθε κατηγορία μεγέθους για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010.

Age	499<GT≤1000	1000<GT≤20000	GT>20000
1-5	19	480	17
6-10	20	389	15
11-15	31	412	12
16-20	24	355	4
21-25	8	195	11

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ της συχνότητας ατυχημάτων/πλοία•έτη και της ηλικίας του πλοίου τη στιγμή του ατυχήματος, για το σύνολο των πλοίων. Απεικονίζονται και τα 95% confidence intervals.



**Σχήμα 3.31:** Αριθμός ατυχημάτων/πλοία•έτη ανά ηλικία για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010 (πλοία με GT>499).

Προξενεί τρομερό ενδιαφέρον ότι τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφανίζουν πλοία με ηλικία ενός μόνου έτους. Πλοία με ηλικία από 2 έως 17 έτη εμφανίζουν παραπλήσιες συχνότητες ενώ για πλοία 18 ετών και άνω οι συχνότητες ατυχημάτων εμφανίζουν πτωτικές τάσεις.

## 3.7 Στατιστικά Τέστ

### • 3.7.1 Ανάλυση Διακύμανσης(ANOVA)

Η ανάλυση της διακύμανσης (Analysis Of Variance – ANOVA) είναι μία στατιστική μεθόδος με την οποία η μεταβλητότητα που υπάρχει σ' ένα σύνολο δεδομένων διασπάται στις επιμέρους συνιστώσες της με στόχο την κατανόηση της σημαντικότητας των διαφορετικών πηγών προέλευσής της. Η ανάπτυξη της μεθοδολογίας οφείλεται στον θεμελιωτή της σύγχρονης στατιστικής επιστήμης, άγγλο στατιστικό Sir Ronald Aylmer Fisher (1890-1962). Στην πραγματικότητα η ANOVA περιλαμβάνει μία ομάδα στατιστικών μεθόδων καταλλήλων για την ανάλυση δεδομένων που προκύπτουν από πειραματικούς σχεδιασμούς.

Τα δεδομένα ενός δείγματος ανάλογα με την προέλευσή τους διακρίνονται σε παρατηρήσεις (observational sampling) ή σε πειραματικά (designed sampling). Στην πρώτη κατηγορία ο στατιστικός ερευνητής απλά παρατηρεί τις τιμές που εμφανίζονται χωρίς να έχει δυνατότητα επέμβασης στις αντίστοιχες μεταβλητές. Αντίθετα στη δεύτερη κατηγορία ο στατιστικός ερευνητής προσπαθεί να ελέγξει τα επίπεδα μιάς ή περισσότερων ανεξάρτητων (independent) μεταβλητών προκειμένου να προσδιορίσει την επίδραση που έχουν πάνω στην υπό μελέτη μεταβλητή που καλείται εξαρτημένη (dependent) η απόκριση (response). Για παράδειγμα, απόκριση μπορεί να είναι η βαθμολογία στην εξέταση του μαθήματος της στατιστικής, ο όγκος των πωλήσεων μιάς επιχείρησης ή το συνολικό εισόδημα μιάς οικογένειας κατά τη διάρκεια του έτους.

Στόχος κάθε στατιστικού πειράματος είναι ο προσδιορισμός της επίδρασης μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών πάνω στην απόκριση. Οι μεταβλητές αυτές αναφέρονται συνήθως σαν παράγοντες (factors) και μπορεί να είναι είτε ποσοτικές είτε ποιοτικές. Για παράδειγμα θα ήταν ενδιαφέρον να διερευνήσουμε την επίδραση που έχει ο ποιοτικός παράγων “φύλο” στη βαθμολογία της στατιστικής ή ο ποσοτικός παράγων “πλήθος καταστημάτων πώλησης” στον όγκο των πωλήσεων. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις ενδεχομένως να ενδιαφερόμαστε για την επίδραση που έχουν πάνω στην απόκριση περισσότερες της μιάς ανεξάρτητες μεταβλητές όπως ο ποσοτικός παράγων “πλήθος εργαζομένων” και ο ποιοτικός παράγων “πόλη διαμονής” πάνω στο οικογενειακό εισόδημα.

Οι τιμές του παράγοντα που προσδιορίζονται στο πείραμα λέγονται επίπεδα (levels). Για παράδειγμα τα επίπεδα για τον ποιοτικό παράγοντα φύλο είναι “αρσενικό” - “θηλυκό”, ενώ για τον ποσοτικό παράγοντα πλήθος καταστημάτων πώλησης είναι “θετικός ακέραιος”. Σε ένα πείραμα με ένα παράγοντα οι μεταχειρίσεις (treatments) του πειράματος είναι τα επίπεδα του παράγοντα. Για παράδειγμα αν στο πείραμα βαθμολογία της στατιστικής μας ενδιαφέρει η επίδραση του παράγοντα “φύλο” τότε οι μεταχειρίσεις του πειράματος είναι αρσενικό – θηλυκό. Σε ένα πείραμα με δύο ή περισσότερους παράγοντες οι μεταχειρίσεις είναι οι συνδυασμοί παραγόντων-επιπέδων. Για παράδειγμα αν μας ενδιαφέρει η επίδραση των παραγόντων “φύλο”, “ηλικία” στη βαθμολογία της στατιστικής, τότε οι μεταχειρίσεις είναι οι συνδυασμοί των επιπέδων φύλου και ηλικίας π.χ. (αρσενικό, 20), (θηλυκό, 18).

Η Anova βασίζεται στον έλεγχο μιας στατιστικής υπόθεσης. Στους στατιστικούς ελέγχους υποθέσεων επιθυμούμε να ελέγξουμε αν μία ή περισσότερες παράμετροι ενός πληθυσμού ικανοποιούν μια βασική υπόθεση. Στην πράξη, επειδή σχεδόν πάντα δεν είμαστε σε θέση να καταγράψουμε τις τιμές των παραμέτρων για ολόκληρο τον πληθυσμό, αρκούμαστε σε ένα τυχαίο δείγμα αυτού. Σκοπός του ελέγχου είναι να επιβεβαιωθεί ή να απορριφθεί η αρχική υπόθεση. Για το σκοπό αυτό, αρχικά κατασκευάζεται μια στατιστική συνάρτηση, η οποία ακολουθεί μια συγκεκριμένη κατανομή όταν η αρχική υπόθεση επιβεβαιώνεται ή

λαμβάνει κάποιες ακραίες τιμές όταν απορρίπτεται. Το επίπεδο εμπιστοσύνης που ο μελετητής ορίζει, καθορίζει ποιες τιμές θεωρούνται κάθε φορά ακραίες. Πιο συγκεκριμένα:

Εστω  $X_1, X_2, \dots, X_n$  ένα τυχαίο δείγμα από έναν πληθυσμό με κατανομή  $F_\theta$ , η οποία εξαρτάται από τις παραμέτρους  $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$ . Θέλουμε να ελεγχθεί η υπόθεση:

**$H_0: \theta \in \Theta_0$**  (βασική ή μηδενική υπόθεση)

**$H_1: \theta \in \Theta_1$**  (εναλλακτική υπόθεση)

Όπου  $\Theta_0, \Theta_1$  υποσύνολα του χώρου  $\Theta$  που περιλαμβάνει όλες τις επιτρεπτές τιμές των παραμέτρων  $\theta$ , τα οποία φυσικά είναι μεταξύ τους ξένα.

Εν συνεχεία, επιλέγεται στατιστική συνάρτηση  $T(\mathbf{X}) = T(X_1, X_2, \dots, X_n)$  με τις δύο επόμενες ιδιότητες:

1<sup>ov</sup>) όταν ισχύει η  $H_0$ , λαμβάνει τιμές μέσα σε μια περιοχή του  $R$  (σύμφωνα με μια γνωστή κατανομή  $F_T$  χωρίς άγνωστες παραμέτρους)

2<sup>ov</sup>) όταν ισχύει η  $H_1$ , λαμβάνει ακραίες τιμές εκτός της περιοχής αυτής (συνήθως μεγαλύτερες).

Με βάση τη συνάρτηση αυτή, αν  $x_1, x_2, \dots, x_n$  είναι οι τιμές του δείγματος (πραγματοποίηση των  $X_1, X_2, \dots, X_n$ ), τότε συνήθως

- αν  $T(x) > c$ , απορρίπτουμε την  **$H_0: \theta \in \Theta_0$** .

- αν  $T(x) \leq c$ , δεν απορρίπτουμε την  **$H_0: \theta \in \Theta_0$** .

για κάποιο προεπιλεγμένο  $c$ . Ανάλογα με την απόφαση που θα παρθεί ελλοχεύουν τα εξής δύο πιθανά σφάλματα:

1<sup>ov</sup>) σφάλμα τύπου I, απόρριψη της  $H_0$ , ενώ ισχύει η  $H_0$ .

2<sup>ov</sup>) σφάλμα τύπου II, αποδοχή της  $H_0$ , ενώ ισχύει η  $H_1$ .

Από τους δύο παραπάνω τύπους σφαλμάτων, μας ενδιαφέρει πρωτίστως να αποφευχθεί ο πρώτος. Για το λόγο, επιλέγουμε  $c$  τέτοιο ώστε:

$$\mathbf{P}(\text{σφάλμα τύπου I}) = \mathbf{P}(T(\mathbf{x}) > c / H_0) \leq \alpha$$

Όπου  $\alpha$  το επίπεδο εμπιστοσύνης, το οποίο προεπιλέγεται με τιμή 0,05 ή 0,01 συνήθως. Δηλαδή, η μηδενική υπόθεση  $H_0$  απορρίπτεται όταν:

$$T(\mathbf{x}) > c = F_{T|H_0}^{-1}(1-\alpha)$$

Η παραπάνω εξίσωση περιγράφει το άνω  $\alpha$ -σημείο της κατανομής  $T(X)$  όταν ισχύει η  $H_0$ .

Πριν την ευρεία χρήση των  $H/Y$  τμήχαν πίνακες των άνω  $\alpha$ -σημείων για συγκεκριμένες κατανομές και συγκεκριμένες τιμές του  $\alpha$ . Σήμερα, ο έλεγχος γίνεται μέσω των στατιστικών πακέτων χρησιμοποιώντας το **p-value**, η έννοια του οποίου περιγράφεται αναλυτικότερα στη συνέχεια.

Αν η περιοχή απόρριψης της μηδενικής υπόθεσης  $H_0$  έχει τη μορφή  $T(\mathbf{x}) > c$ , τότε το p-value των τιμών  $x$  του δείγματος ορίζεται ως η πιθανότητα

$$\text{p-value} = \mathbf{P}(T(\mathbf{X}) > T(\mathbf{x}) / H_0) = 1 - F_{T|H_0}^{-1}(T(\mathbf{x}))$$

η οποία εκφράζει την πιθανότητα να εμφανιστεί ένα τόσο ή ακόμη περισσότερο ακραίο δείγμα από αυτό που εμφανίστηκε, δεδομένου ότι ισχύει η  $H_0$  (αν η  $T(\mathbf{X})$  θεωρηθεί συνεχής, που ισχύει συνήθως, τότε η πιθανότητα περιλαμβάνει και την ισότητα, δηλαδή είναι

$$\text{p-value} = \mathbf{P}(T(\mathbf{X}) \geq T(\mathbf{x}) / H_0) = 1 - F_{T|H_0}^{-1}(T(\mathbf{x}))$$

Αν η τιμή του p-value είναι κοντά στο μηδέν, τότε είναι απίθανο να εμφανιστεί αυτό το δείγμα, ενώ ισχύει η  $H_0$ . Συμπεραίνουμε επομένως, στο ότι μάλλον δεν πρέπει να ισχύει η  $H_0$ . Πράγματι αν  $\text{p-value} < \alpha$ , απορρίπτουμε την  $H_0$  διότι

$$T(\mathbf{x}) > c = F_{T|H_0}^{-1}(1-\alpha) \leftrightarrow F_{T|H_0}(T(\mathbf{x})) > 1-\alpha \leftrightarrow \mathbf{P}(T(\mathbf{X}) > T(\mathbf{x}) | H_0) < \alpha$$

Συνεπώς, αντί να εξετάζεται αν  $T(\mathbf{x}) > c$ , ισοδύναμα εξετάζεται:

- Αν  $\text{p-value} < \alpha$ , απορρίπτουμε την  $H_0$

- Αν  $\text{p-value} \geq \alpha$ , δεχόμαστε την  $H_0$ .

Αν η τιμή του p-value είναι πάρα πολύ μικρό (π.χ 0.0001) ,τότε απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση  $H_0$  αμέσως,ενώ αν η τιμή του είναι σχετικά μικρή (π.χ 0.05) ,τότε διατηρούνται κάποιες επιφυλάξεις.

Στα στατιστικά πακέτα,αρχικά εισάγονται οι τιμές  $x$  του δείγματος,έπειτα επιλέγεται το επίπεδο εμπιστοσύνης  $\alpha$  ,και μετά την εφαρμογή του τεστ ελέγχου εμφανίζεται το p-value.Αν η τιμή αυτή είναι μικρότερη του  $\alpha$  , απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση  $H_0$ .

Το βασικό πλεονέκτημα της χρήσης του p-value είναι ότι πέρα από την απόρριψη ή αποδοχή της  $H_0$  είναι δυνατό να διευκρινιστεί πόσο πιθανή είναι η εμφάνιση του τυχαίου δείγματος  $x$  που επιλέχτηκε,ενώ μπορούν να πραγματοποιηθούν συγκρίσεις για διάφορες τιμές του  $\alpha$  .Η χρήση  $H/Y$  είναι απαραίτητη για μεθόδους με p-value διότι δεν είναι εύκολο να υπολογιστεί ή να πινακοποιηθεί για κάθε τιμή του  $T(x)$ .

Τέλος,αναφέρονται οι προϋποθέσεις εφαρμογής της ανάλυσης διακύμανσης,οι οποίες είναι οι παρακάτω:

- Οι παράμετροι των δειγμάτων είναι ανεξάρτητοι.
- Τα δείγματα ακολουθούν την κανονική κατανομή.

Οι τυπικές αποκλίσεις των γκρουπ είναι περίπου ίσες

Στην περίπτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας,ανεξάρτητες μεταβλητές είναι το μέγεθος του πλοίου και το έτος του ατυχήματος,ενώ εξαρτημένη μεταβλητή είναι τα accident rates.Επομένως,θα πραγματοποιηθεί test 2-παραγόντων.Επιλέχτηκε  $\alpha = 0,05$ .

Ο παρακάτω πίνακας περιέχει τα δεδομένα προς ανάλυση.

**Πίνακας 3.3:**Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των accident rates ανά έτος για κάθε κατηγορία μεγέθους για την περίοδο 1995-2010.

Year	499<GT≤1000	1000<GT≤20000	GT>20000
1995	9,62E-03	1,19E-02	0,00E+00
1996	6,61E-03	1,75E-02	0,00E+00
1997	6,10E-03	1,55E-02	0,00E+00
1998	1,89E-03	1,54E-02	0,00E+00
1999	8,80E-03	1,63E-02	6,37E-03
2000	4,95E-03	1,92E-02	1,20E-02
2001	4,66E-03	1,86E-02	1,13E-02
2002	5,87E-03	1,76E-02	5,35E-03
2003	9,72E-03	1,97E-02	5,08E-03
2004	6,60E-03	2,68E-02	0,00E+00
2005	7,54E-03	2,87E-02	2,30E-02
2006	8,40E-03	2,96E-02	4,39E-02
2007	2,41E-02	4,56E-02	2,94E-02
2008	1,21E-02	4,54E-02	3,23E-02
2009	9,39E-03	4,49E-02	4,63E-02
2010	1,02E-02	5,08E-02	3,77E-02

Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε με το MS Excel και τα αποτελέσματα πρόεκυψαν στην παρακάτω μορφή.

Πίνακας 3.4: Αποτελέσματα Ανοβα , όπως προέκυψαν από το πρόγραμμα MS Excel.

<b>Anova: Two-Factor Without Replication</b>				
<b>SUMMARY</b>	<b>Count</b>	<b>Sum</b>	<b>Average</b>	<b>Variance</b>
1995	3	0,02149	0,00716	0,00004
1996	3	0,02415	0,00805	0,00008
1997	3	0,02161	0,00720	0,00006
1998	3	0,01733	0,00578	0,00007
1999	3	0,03149	0,01050	0,00003
2000	3	0,03608	0,01203	0,00005
2001	3	0,03457	0,01152	0,00005
2002	3	0,02881	0,00960	0,00005
2003	3	0,03448	0,01149	0,00006
2004	3	0,03337	0,01112	0,00019
2005	3	0,05926	0,01975	0,00012
2006	3	0,08182	0,02727	0,00032
2007	3	0,09916	0,03305	0,00013
2008	3	0,08971	0,02990	0,00028
2009	3	0,10062	0,03354	0,00044
2010	3	0,09881	0,03294	0,00043
<b>499&lt;GT≤1000</b>	16	0,13660	0,00854	0,00002
<b>1000&lt;GT≤20000</b>	16	0,42347	0,02647	0,00017
<b>GT&gt;20000</b>	16	0,25271	0,01579	0,00029

<b>ANOVA</b>						
<b>Source of Variation</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P-value</b>	<b>F crit</b>
<b>Rows</b>	0,00504	15	0,00034	4,64810	0,00017	2,01480
<b>Columns</b>	0,00260	2	0,00130	18,00086	0,00001	3,31583
<b>Error</b>	0,00217	30	7,23E-05			
<b>Total</b>	0,00981	47				

Στο πρώτο μέρος των αποτελεσμάτων, υπολογίζονται οι διακυμάνσεις ανά σειρά και ανά στήλη, δηλαδή ανά κατηγορία μεγέθους για όλη την περίοδο 1995-2010 και ανά έτος για όλες τις κατηγορίες μεγέθους.

Στο δεύτερο τμήμα των αποτελεσμάτων, που αποτελεί και τον πίνακα Ανοβα, εμφανίζονται τα εξής μεγέθη:

- SS=Sum of Squares. Αυτός ο όρος είναι το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων των παρατηρήσεων από τη μέση τιμή και καλείται για συντομία άθροισμα τετραγώνων.
- df=οι βαθμοί ελευθερίας.
- MS=Means Square. Αυτός ο όρος είναι το μέσο τετράγωνο της κάθε ομάδας και δίνει έναν αμερόληπτο εκτιμητής τις αντίστοιχη διακύμανσης  $\sigma^2$ .
- F είναι η τιμή της στατιστικής συνάρτησης.
- P-value εξηγήθηκε εκτενώς προηγουμένως.

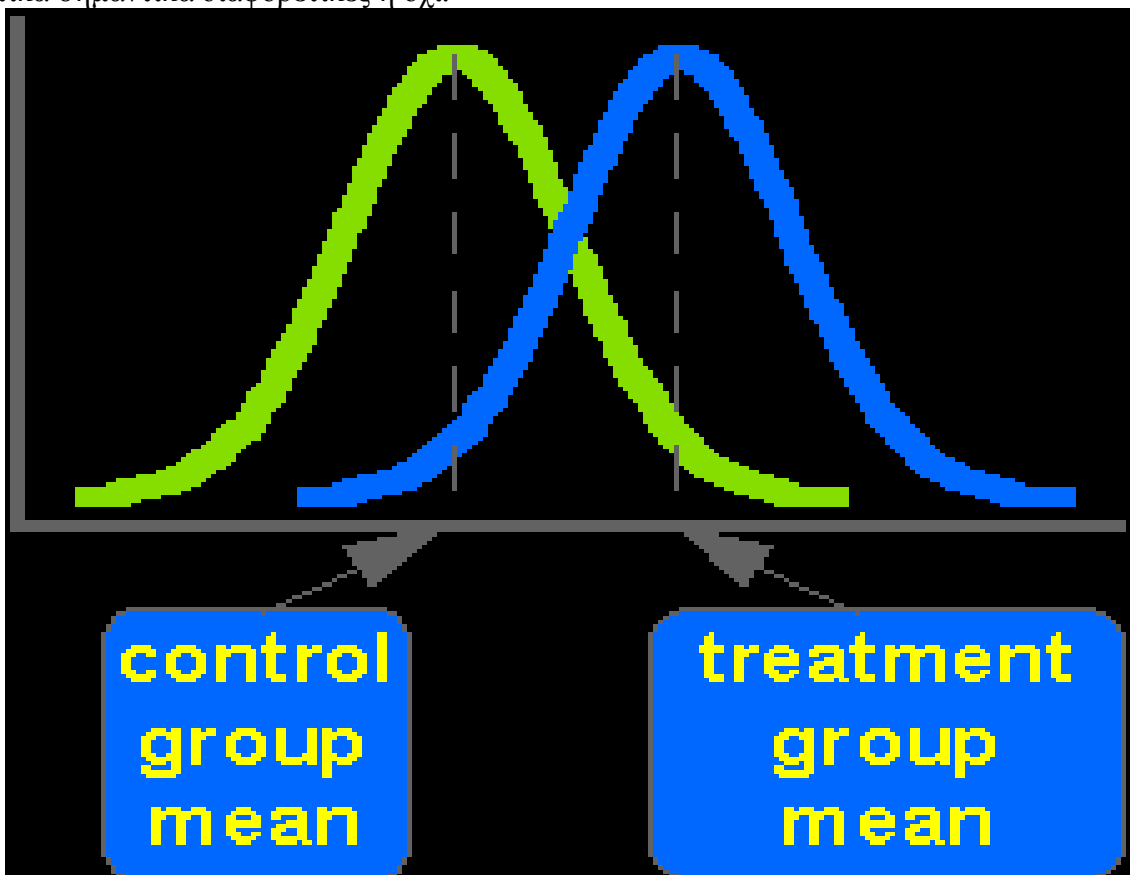
- $F_{crit}$  είναι η κρίσιμη τιμή της στατιστικής συνάρτησης με την οποία θα γίνει η σύγκριση.

### Σχολιασμός

- Παρατηρούμε ότι το p-value είναι μικρότερο του  $\alpha$  τόσο ανάμεσα στις γραμμές (έτος ατυχήματος), όσο και στις στήλες (κατηγορία μεγέθους). Ακόμη ισχύει  $F > F_{crit}$  και στις δύο περιπτώσεις. Επομένως, συμπαιρένουμε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των συχνοτήτων τόσο όσον αφορά στο μέγεθος των πλοίων όσο και στο έτος των ατυχημάτων. Δηλαδή, τα μικρά πλοία τύπου Γ/Φ 'έλκουν' τα ατυχήματα και σοβαρή προσπάθεια πρέπει να γίνει σε αυτόν τον τομέα με επανεξέταση των κανονισμών, των διαδικασιών συντήρησης, των διαδρομών που ακολουθούν καθώς και του είδους του φορτίου που μεταφέρουν.

### • 3.7.2 t-Test

Το συγκεκριμένο τεστ εκτιμά το κατά πόσον οι μέσες τιμές 2 δειγμάτων είναι στατιστικά σημαντικά διαφορετικές ή όχι.

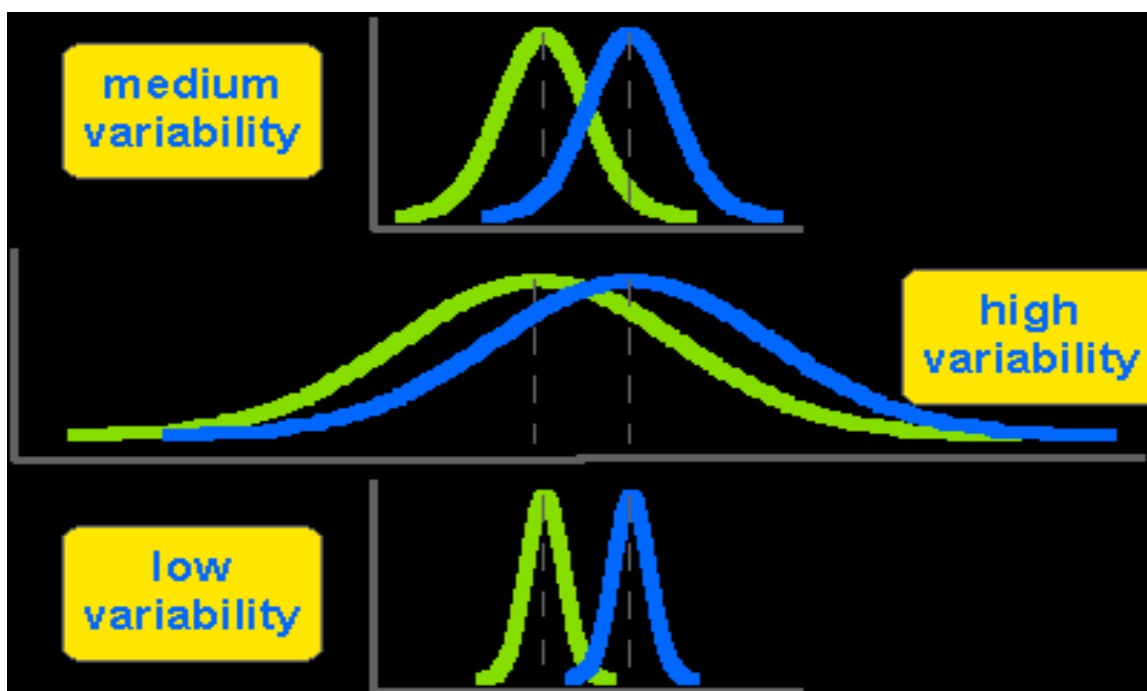


Σχήμα 3.32: Κατανομές των ομάδων 'ελέγχου' και 'θεραπείας' μιας μελέτης.

Στο παραπάνω σχήμα, απεικονίζονται οι κατανομές 2 ομάδων στοιχείων. Βέβαια, οι κατανομές αυτές είναι εξιδανικευμένες. Στην πράξη, τις περισσότερες φορές έχουμε τα ιστογράμματα που προκύπτουν από το κάθε γκρουπ παρατηρήσεων.

Τι σημαίνει όμως ότι οι μέσες τιμές 2 γκρουπ στοιχείων-παρατηρήσεων είναι στατιστικά διαφορετικές.Ας κοιτάξουμε το επόμενο σχήμα.Παρατηρούμε ότι και στις 3 περιπτώσεις η διαφορά των μέσων τιμών είναι η ίδια.Το κάθε γράφημα όμως,παρουσιάζει και μια διαφορετική κατάσταση.Στην πρώτη και στην τρίτη περίπτωση,μπορούμε να πούμε ότι οι κατανομές είναι πιο διαφορετικές,διότι η μία επικαλύπτει την άλλη σε πολύ μικρό εύρος.Αντιθέτως,στη δεύτερη περίπτωση,η διαφορά μεταξύ των γκρουπ δείχνει πολύ μικρότερη,καθώς οι 2 κατανομές επικαλύπτονται σχεδόν στο σύνολό τους.

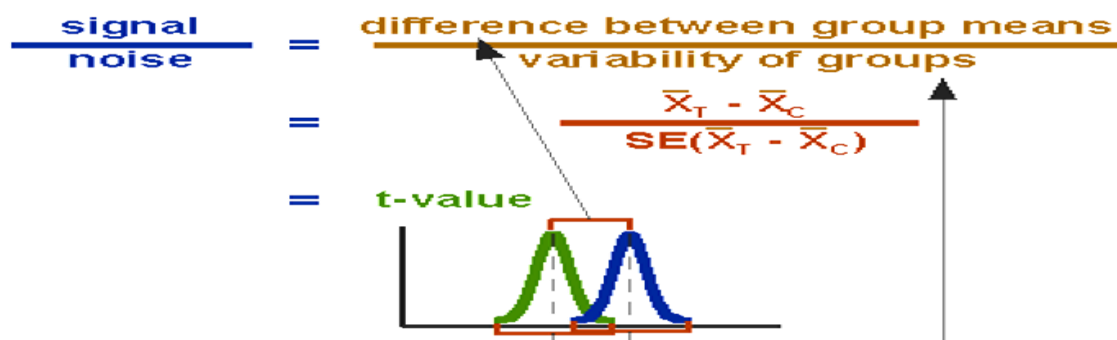
Το παραπάνω παράδειγμα μας οδηγεί στο εξαιρετικό σημαντικό συμπέρασμα πως όταν συγκρίνουμε 2 κατανομές ή γενικά 2 ομάδες στοιχείων,πρέπει η διαφορά μεταξύ των μέσων τιμών τους να εξετάζεται σε συνδυασμό με το εύρος ή τη μεταβλητότητα των τιμών τους.Αυτό κάνει το t-test.



Σχήμα 3.33:3 διαφορετικά σενάρια κατανομών με ίση διαφορά μέσων τιμών.

Η συνάρτηση του t-test είναι ένας λόγος.Ο αριθμητής είναι η διαφορά των μέσων τιμών ή των μέσων όρων των 2 ομάδων.Ο παρονομαστής είναι ένα μέτρο της διασποράς των τιμών.Στο επόμενο σχήμα βλέπουμε πως απεικονίζεται ο κάθε όρος στην κατανομή.

Η συγκεκριμένη συνάρτηση χρησιμοποιείται και στη θεωρία Σημάτων.



Σχήμα 3.34:Συνάρτηση του t-test.

Ο αριθμητής είναι εύκολο να υπολογιστεί, απλά βρίσκουμε τη διαφορά των μέσων τιμών. Ο παρανομαστής καλείται σταθερό σφάλμα της διαφοράς (standard error of difference). Για τον υπολογισμό του, απαιτείται η διακύμανση του κάθε γκρουπ την οποία και διαιρούμε με το μέγεθος του δείγματος. Προσθέτουμε τους 2 λόγους και υπολογίζουμε τη ρίζα τους. Δηλαδή, ισχύει:

$$SE(\bar{X}_T - \bar{X}_C) = \sqrt{\frac{\text{var}_T}{n_T} + \frac{\text{var}_C}{n_C}}$$

Σχήμα 3.35: Standard Error of Difference.

Υπενθυμίζουμε ότι η διακύμανση είναι ίση με το τετράγωνο της τυπικής απόκλισης. Συνεπώς, η τελική μορφή της συνάρτησης του t-test είναι η παρακάτω:

$$t = \frac{\bar{X}_T - \bar{X}_C}{\sqrt{\frac{\text{var}_T}{n_T} + \frac{\text{var}_C}{n_C}}}$$

Σχήμα 3.36: Τελική συνάρτηση του t-test.

Το t-value θα είναι θετικό ή αρνητικό ανάλογα με τη σχέση αριθμητή-παρανομαστή. Για την εφαρμογή του t-test απαιτείται η επιλογή του επιπέδου εμπιστοσύνης α (συνήθως α = 0,05). Οι βαθμοί ελευθερίας είναι ίσοι με τον αριθμό των παρατηρήσεων μείον 2. Έχοντας το α, τους βαθμούς ελευθερίας df και το t-value μπορούμε μέσω πινάκων να δούμε το πόσο στατιστικά σημαντική είναι η διαφορά των μέσων τιμών των 2 ομάδων. Η διαδικασία βέβαια πλέον γίνεται αυτόματα με τα στατιστικά πακέτα.

Στην περιπτωσή μας, έγινε σύγκριση μεταξύ των κατηγοριών 499 < GT ≤ 1000 και 1000 < GT ≤ 20000 γιατί αυτές συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο αριθμό ατυχημάτων με τη δεύτερη φυσικά κατηγορία να κυριαρχεί. Επιλέχτηκε α = 0,05.

Τα αποτελέσματα του t-test προέκυψαν ως εξής:

Πίνακας 3.5: Αποτελέσματα t-test, όπως προέκυψαν από το πρόγραμμα MS Excel.

	<b>499 &lt; GT ≤ 1000</b>	<b>1000 &lt; GT ≤ 20000</b>
<b>Mean</b>	0,008537247	0,026466712
<b>Variance</b>	2,36832E-05	0,000169919
<b>Observations</b>	16	16
<b>Pooled Variance</b>	9,68011E-05	
<b>Hypothesized Mean Difference</b>	0	
<b>df</b>	30	
<b>t Stat</b>	-5,154328349	
<b>P(T&lt;=t) one-tail</b>	7,53308E-06	
<b>t Critical one-tail</b>	1,697260887	
<b>P(T&lt;=t) two-tail</b>	1,50662E-05	
<b>t Critical two-tail</b>	2,042272456	



Παρατηρούμε ότι ισχύει  $t\text{-value} < t_{\text{crit}}$  επομένως υπάρχει στατιστική διαφορά μεταξύ των 2 κατηγοριών.

Όταν το t-test είναι one-tail σημαίνει πως γνωρίζουμε πως οι μέσες τιμές των 2 ομάδων είναι διαφορετικές αλλά και ποια ομάδα έχει τη μεγαλύτερη μέση τιμή, ενώ όταν είναι two-tailed αυτό δεν είναι γνωστό και πραγματοποιείται διπλός έλεγχος.

### • 3.7.3 F-Test

Ένα F-test χρησιμοποιείται για να ελέωξει αν η τυπικές αποκλίσεις δύο πληθυσμών είναι ίσες. Αυτό το test μπορεί να είναι one-tailed ή two-tailed, έννοιες που ορίστηκαν μόλις πριν. Η επιλογή γίνεται ανάλογα με την περίπτωση.

Η υπόθεση F test ορίζεται ως εξής:

$$H_0: \sigma_1 = \sigma_2$$

$$H_1: \sigma_1 > \sigma_2, \text{ για ένα upper one tailed test}$$

$$\sigma_1 < \sigma_2, \text{ για ένα lower one tailed test}$$

$$\sigma_1 \neq \sigma_2, \text{ για ένα two tailed test}$$

Το test υπολογίζει την παράμετρο  $F = \sigma_1^2 / \sigma_2^2$ , δηλαδή το λόγο των διακυμάνσεων των δύο δειγμάτων. Όσο πιο πολύ αυτός ο λόγος προσεγγίζει το 1, τόσο πιο ισχυρές είναι οι αποδείξεις για ίσες διακυμάνσεις, άρα και ίσες τυπικές αποκλίσεις. Και σε αυτό το test είναι απαραίτητο να οριστεί το επίπεδο εμπιστοσύνης  $\alpha$ .

Η υπόθεση πως δύο τυπικές αποκλίσεις είναι ίσες απορρίπτεται εάν ισχύει

$$F > F_{(\alpha, N_1-1, N_2-1)}, \text{ για ένα upper one tailed test}$$

$$F < F_{(1-\alpha, N_1-1, N_2-1)}, \text{ για ένα lower one tailed test}$$

$$F < F_{(1-\alpha/2, N_1-1, N_2-1)}, \text{ για ένα two tailed test}$$

Όπου  $F_{(\alpha, k-1, N-k)}$ , είναι η κρίσιμη τιμή της κατανομής F με βαθμούς ελευθερίας  $N_1, N_2$  αντίστοιχα και για επίπεδο εμπιστοσύνης  $\alpha$ .

Το F-Test πραγματοποιήθηκε με το MS excel για τις κατηγορίες  $499 < GT \leq 1000$  και  $1000 < GT \leq 20000$  και τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Έγινε η υπόθεση πως οι συχνότητες των ατυχημάτων της δεύτερης κατηγορίας εμφανίζουν μεγαλύτερη τυπική απόκλιση, ενώ επιλέχτηκε  $\alpha = 0,05$ .

**Πίνακας 3.6:** Αποτελέσματα F-test, όπως προέκυψαν από το πρόγραμμα MS Excel.

	<b>499&lt;GT≤1000</b>	<b>1000&lt;GT≤20000</b>
<b>Mean</b>	0,008537247	0,026466712
<b>Variance</b>	0,000023683	0,000169919
<b>Observations</b>	16	16
<b>df</b>	15	15
<b>F</b>	0,139379598	
<b>P(F&lt;=f) one-tail</b>	0,000227391	
<b>F Critical one-tail</b>	0,416069075	

### Σχολιασμός

Παρατηρούμε ότι ισχύει  $F < F_{crit}$  και επειδή στην περίπτωση μας ισχύει ότι  $\sigma_1 < \sigma_2$ , άρα έχουμε lower one tailed test και επομένως απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση πως τα δύο δείγματα έχουν ίσες τυπικές αποκλίσεις. Συνεπώς και τα αποτελέσματα αυτού του στατιστικού τέστ αποδεικνύουν τη στατιστικά σημαντική διαφορά που παρουσιάζουν οι 2 κατηγορίες μεγέθους και αναδεικνύει πως δεν είναι τυχαίο ότι τα μικρού μεγέθους πλοία τύπου Γ/Φ παρουσιάζουν μια 'έλξη' για ατυχήματα. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαίο να εξεταστούν εκ νέου σημαντικοί παράμετροι της λειτουργίας τους.

## **Κεφάλαιο 4ο:ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ**

Στο παρόν κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας σκοπός είναι η παραγωγή σεναρίων με βάση τις κατανομές που ακολουθούν συγκεκριμένοι παράμετροι όπως αυτές λήφθηκαν από τα ιστορικά στοιχεία των ατυχημάτων της περιόδου 01/01/1995-31/12/2010 από τη βάση δεδομένων της Sea-Web.

Η διαδικασία που θα ακολουθήσουμε και θα περιγραφεί αναλυτικά βήμα-βήμα στη συνέχεια είναι η εξής:

Αρχικά,θα καταγραφούν οι τιμές των παραμέτρων για τις περιπτώσεις ατυχημάτων του δείγματος.Έπειτα,από τις τιμές αυτές θα κατασκευαστούν αντίστοιχα ιστογράμματα από τα οποία με κατάλληλη μεθολογία θα προκύψουν πιθανοθεωρητικές κατανομές για την κάθε μεταβλητή του προβλήματος.Στη συνέχεια,με βάση αυτές τις κατανομές και χρήση κατάλληλων μεθόδων δειγματοληψίας θα καταλήξουμε σε ορισμένα σενάρια.

Με τον όρο σενάρια εννοούμε καταστάσεις με συγκεκριμένες τιμές για κάθε επιλεγμένη παράμετρο και συγκεκριμένη τιμή των συνεπειών.

### **4.1 Το Δείγμα**

Το σύνολο των ατυχημάτων όπως καταγράφηκε από τη βάση δεδομένων της Sea-Web αγγίζει τα 1992 ατυχήματα,ένας αριθμός αρκετά μεγάλος και δύσκολος στο χειρισμό και την επεξεργασία.Συνεπώς,κατέστη απαραίτητο να μειωθεί αρκετά ο αριθμός αυτός ώστε να γίνει δυνατή η καταγραφή των τιμών κάποιων σημαντικών παραμέτρων για το γεγονός ενός ατυχήματος.Για το λόγο αυτό,απομονώθηκαν τα ατυχήματα που οδήσαν σε ανθρώπινες απώλειες και μελετήθηκαν ξεχωριστά.Ο αριθμός αυτών των ατυχημάτων είναι πλέον 44 και είναι αρκετά ευέλικτος για την πραγματοποίηση της μελέτης.

### **4.2 Οι Παράμετροι**

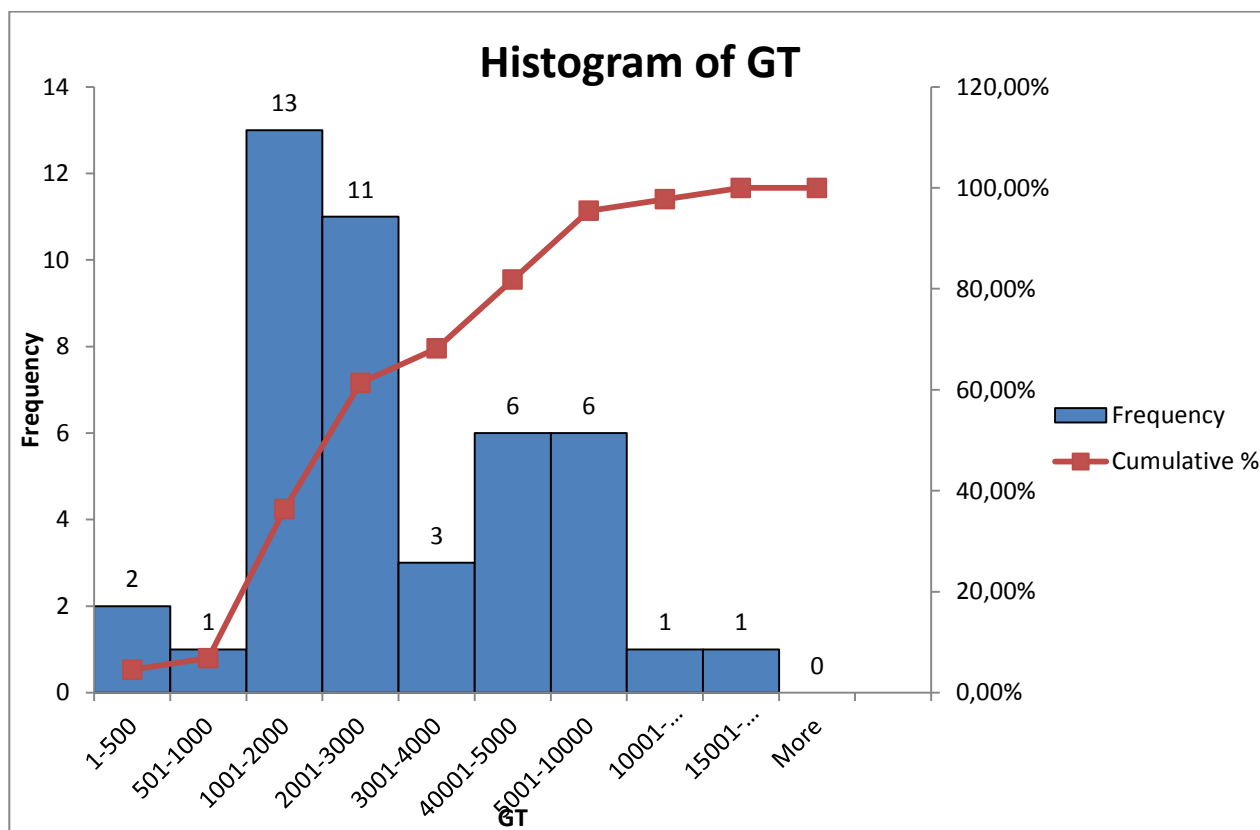
Στο σημείο αυτό,αποφασίστηκε πως οι παράμετροι-μεταβλητές της μελέτης που θα ακολουθήσει θα είναι οι παρακάτω:

- ❖ Το μέγεθος του πλοίου σε GT.
- ❖ Η ηλικία του πλοίου σε έτη.
- ❖ Ο τύπος του ατυχήματος,όπως ορίστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.
- ❖ Η ισχύς του πλοίου εκφρασμένη με το MCR.
- ❖ Η κατάσταση φόρτωσης του πλοίου
- ❖ Οι καιρικές συνθήκες

Οι παραπάνω παράμετροι θα αξιολογηθούν ως προς την επίδραση που έχουν στις συνέπειες ενός ατυχήματος και κυρίως σε ότι αφορά στις ανθρώπινες απώλειες (fatalities).

### 4.2.1 Μέγεθος του πλοίου

Αρχικά, από τις παρατηρήσεις που προέκυψαν για το επιλεγμένο δείγμα κατασκευάζεται το αντίστοιχο ιστόγραμμα.



Σχήμα 4.1: Ιστόγραμμα της παραμέτρου GT.

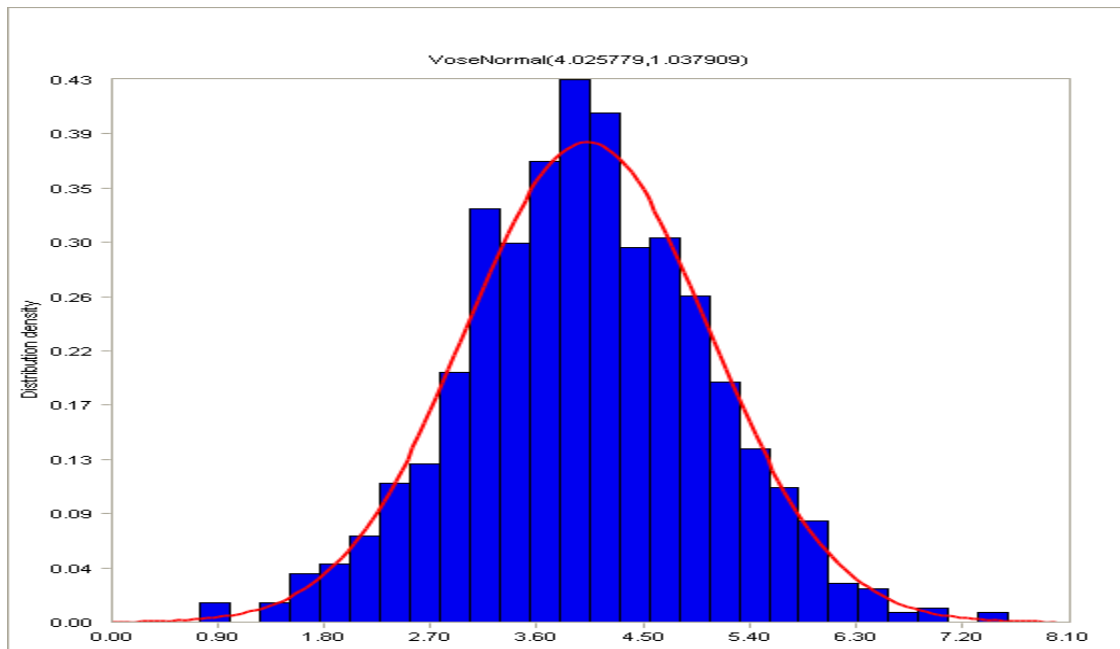
Από το παραπάνω σχήμα βλέπουμε τη συχνότητα εμφάνισης περιπτώσεων ατυχημάτων όπου το πλοίο είχε μέγεθος που ανήκε σε μια συγκεκριμένη περιοχή GT. Ακόμη, απεικονίζεται και η αθροιστική συνάρτηση κατανομής. Παρατηρούμε ότι οι περιοχές 1001-2000 και 2001-3000 είναι αυτές στις οποίες παρατηρούνται οι μεγαλύτερες συχνότητες.

Το επόμενο βήμα είναι, με βάση το παραπάνω ιστόγραμμα, να αποδοθεί μια συγκεκριμένη πιθανοθεωρητική συνάρτηση κατανομής για τη συγκεκριμένη μεταβλητή, διαδικασία που θα επαναληφθεί και για τις υπόλοιπες παραμέτρους για αυτό. Κι κρίνεται σκόπιμο να αναλυθεί στο σημείο αυτό.

### 4.2.2 Απόδοση Κατανομής στα Δεδομένα (Fitting Distribution to Data)

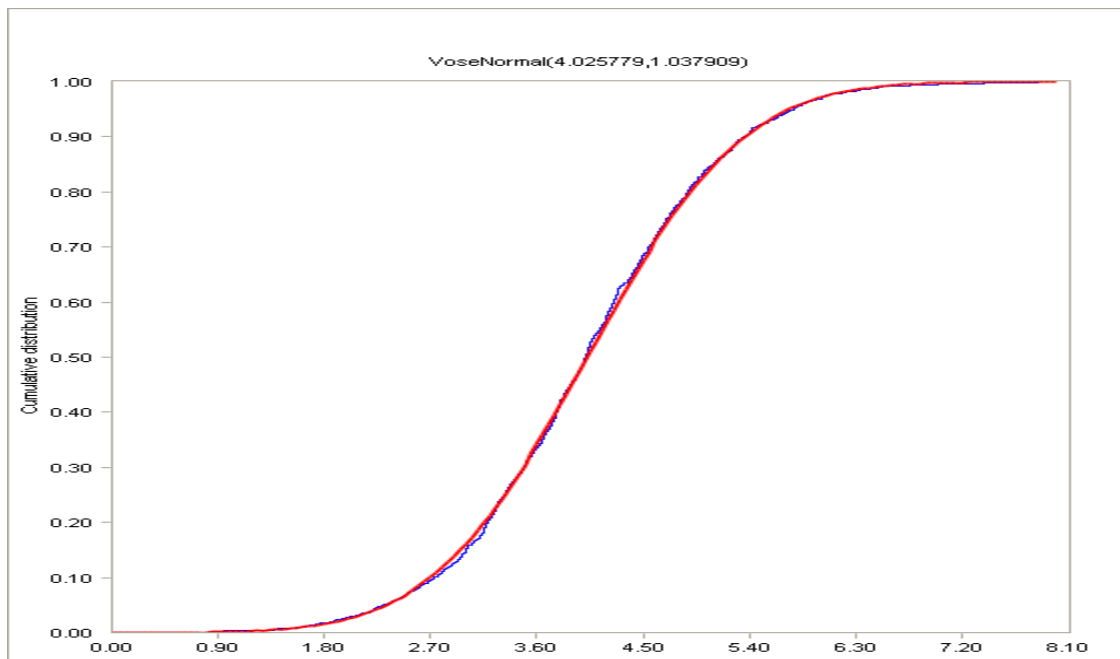
Η απόδοση πιθανοθεωρητικής κατανομής σε δεδομένα ενός δείγματος είναι η διαδικασία επιλογής μιας στατιστικής κατανομής η οποία ταιριάζει καλύτερα στο σετ δεδομένων που προέκυψε κατά κάποιο τυχαία διαδικασία. Με άλλα λόγια, για τα τυχαία δεδομένα που διαθέτει ο μελετητής ζητείται η κατανομή εκείνη που τα περιγράφει καλύτερα. Για καλύτερη κατανόηση παρατίθεται το επόμενο παράδειγμα. Το πρώτο σχήμα

απεικονίζει την κανονική κατανομή με κατάλληλες παραμέτρους ώστε να περιγράψει καλύτερα ένα σετ δεδομένων. Το σετ δεδομένων παράχθηκε από την εξίσωση κανονικής κατανομής με μέση τιμή 4 και τυπική απόκλιση 1 αντίστοιχα. Το δείγμα είναι αρκετά μεγάλο και οι τελικές τιμές των παραμέτρων της κατανομής προκύπτουν 4.026 και 1.038 που προσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό την πραγματικότητα. Στην πράξη βέβαια, δε γνωρίζουμε από ποια κατανομή προέκυψαν τα δεδομένα ώστε να ελέγξουμε την ορθότητα του αποτελέσματος.



Σχήμα 4.2: Κανονική κατανομή για μια ομάδα δεδομένων.

Μια εναλλακτική μορφή απεικόνισης που βοηθά στο να ελεγχθεί αν μια κατανομή ταιριάζει με τα δεδομένα είναι αυτός που παρουσιάζει το επόμενο σχήμα.



Σχήμα 4.3: Σύγκριση αθροιστικών συναρτήσεων κατανομής.

Ένα επίσης σημαντικό στοιχείο είναι ότι τα όρια στα οποία εκτείνεται η οποιαδήποτε κατανομή που καλείται να περιγράψει μια ομάδα δεδομένων θα πρέπει να ακολουθεί τα όρια μέσα στα οποία βρίσκονται οι τιμές αυτών δεδομένων. Η απαίτηση αυτή μπορεί να επιτευχθεί με κατάλληλες εντολές στα πλαίσια των στατιστικών πακέτων που χρησιμοποιούνται για όλη τη διαδικασία γενικότερα.

Τέλος, στην όλη διαδικασία γεννιέται ένα πολύ σημαντικό ερώτημα. Πέρα από την οπτική αναγνώριση πως μια κατανομή ταιριάζει περισσότερο από μια άλλη σε μια ομάδα δεδομένων, έλεγχος που φυσικά δεν υπάγεται σε κάποιο νόμο, πως ο εκάστοτε μελετητής θα είναι σε θέση να επιλέξει την καταλληλότερη κατανομή για τα δεδομένα του;

Η απάντηση στο παραπάνω ερώτημα είναι εξαιρετικά σημαντική διότι είναι αναγκαίο να επιλεγεί η καταλληλότερη κατανομή. Οι κατανομές πιθανότητας είναι ένα εργαλείο για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας. Χρησιμοποιώντας αυτές τις κατανομές και κάνοντας συγκεκριμένους υπολογισμούς και εφαρμόζοντας τα αποτελέσματα για λήψη αποφάσεων. Συνεπώς, χρήση ενός λανθασμένου εργαλείου θα οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα και αυτά με τη σειρά τους θα οδηγήσουν σε λανθασμένες αποφάσεις.

Στο παραπάνω ερώτημα δίνουν απάντηση τρία διαφορετικά τεστ, τα εξής:

- 1<sup>ov</sup>) Chi-Squared ( $\chi^2$ )
- 2<sup>ov</sup>) Kolmogorov-Smirnoff (**K-S**)
- 3<sup>ov</sup>) Anderson-Darling (**A-D**)

Ο τομέας αυτός της Στατιστικής καλείται **Goodness-of-Fit Statistics (GOF)**. Τα τρία αυτά τεστ δεν είναι εύκολο να κατανοηθούν ή να μεταφραστούν. Δε δίνουν ένα αληθινό μέτρο της πιθανότητας να περιγράφονται τα δεδομένα από την επιλεγμένη κατανομή. Δίνουν όμως την πιθανότητα δεδομένα τα οποία παράγονται από την επιλεγμένη κατανομή να δίνουν μια τιμή για τα τεστ τόσο μικρή όσο υπολογίζεται για τα δεδομένα των παρατηρήσεων. Και αυτό γιατί όσο πιο μικρή είναι η τιμή των παραπάνω τεστ τόσο καλύτερα η επιλεγμένη κατανομή περιγράφει τα δεδομένα που προέρχονται από τις παρατηρήσεις.

#### 4.2.2.1 Chi-Squared Goodness-of-Fit Statistic

Η Chi-Squared ( $\chi^2$ ) είναι μια μέθοδος που αποτιμά πόσο καλά η αναμενόμενη συχνότητα της επιλεγμένης κατανομής συγκρίνεται με το ιστόγραμμα των δεδομένων των παρατηρήσεων. Το Chi-Squared τεστ κάνει τις παρακάτω υποθέσεις:

- Το δείγμα των παρατηρήσεων αποτελείται από ένα τυχαίο δείγμα με  $n$  ανεξάρτητα στοιχεία.
- Η κλίμακα μέτρησης μπορεί να είναι ονομαστική (nominal) ή αριθμητική (numerical).
- Τα  $n$  στοιχεία μπορούν να οργανωθούν σε ένα ιστόγραμμα με  $N$  γειτονικές κλάσεις οι οποίες οριοθετούν το σύνολο των πιθανών τιμών της μεταβλητής που περιγράφει το δείγμα.

Η εξίσωση του Chi-Squared τεστ είναι η παρακάτω:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{\{O(i) - E(i)\}^2}{E(i)}$$

όπου  $O(i)$  είναι η παρατηρούμενη συχνότητα της  $i$ -κλάσης του ιστογράμματος και  $E(i)$  είναι η αναμενόμενη συχνότητα της επιλεγμένης κατανομής από τις  $x$ -τιμές που βρίσκονται εντός του  $x$ -εύρους της  $i$ -κλάσης του ιστογράμματος. Το  $E(i)$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E(i) = \{F(i_{\max}) - F(i_{\min})\} * n$$

Όπου,  $F(x)$  = η συνάρτηση της επιλεγμένης κατανομής

$i_{\max}$  = η τιμή του πάνω ορίου της i-κλάσης του ιστογράμματος

$i_{\min}$  = η τιμή του κάτω ορίου της i-κλάσης του ιστογράμματος

Αφού η συνάρτηση  $\chi^2$  αθροίζει τα τετράγωνα των διαφορών-σφαλμάτων  $\{O(i)-E(i)\}$  μπορεί να γίνει δυσάναλογα ευαίσθητη σε μεγάλα σφάλματα. Η συνάρτηση  $\chi^2$  εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον αριθμό των κλάσεων  $N$  που χρησιμοποιούνται στο ιστόγραμμα. Αλλάζοντας τον αριθμό  $N$  των κλάσεων μπορεί η προηγούμενη κατανομή που είχε επιλεγεί να μην είναι πλέον η βέλτιστη. Δυστυχώς, δεν υπάρχουν κανόνες επιλογής του αριθμού  $N$  των κλάσεων ώστε να επιτυγχάνεται το καλύτερο αποτέλεσμα.

#### 4.2.2.2 Kolmogorov-Smirnoff (K-S) Statistic

Η μέθοδος K-S βασίζεται στη συνάρτηση  $D_n$  η οποία ορίζεται ως εξής:

$$D_n = \max [(F_n(x) - F(x))]$$

Όπου,

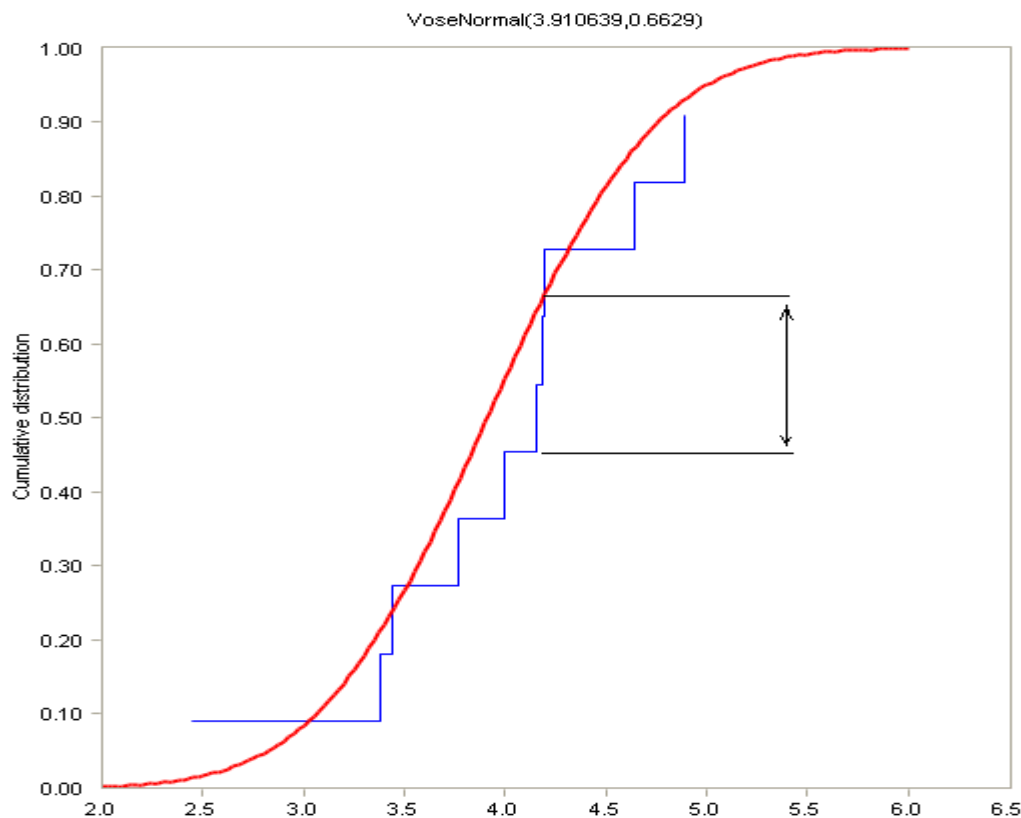
$D_n$  = είναι γνωστή ως η απόσταση K-S

$n$  = ο συνολικός αριθμός των δεδομένων του δείγματος

$F(x)$  = η συνάρτηση της επιλεγμένης κατανομής

$F_n(x) = i/n$ , με  $i$  τη θέση του στοιχείου κατ'άθροισμα.

Η συνάρτηση K-S υπολογίζεται για τη μέγιστη κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής της επιλεγμένης κατανομής και την αθροιστική κατανομή των δεδομένων του δείγματος. Το επόμενο σχήμα απεικονίζει αυτή ακριβώς τη διαφορά.



Σχήμα 4.4: Απεικόνιση της διαφοράς  $D_n$

Η τιμή της συνάρτησης K-S καθορίζεται μόνο από τη μεγαλύτερη ασυμφωνία και δεν λαμβάνει καθόλου υπόψιν τις διαφορές της υπόλοιπης κατανομής.

Η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της κατανομής των παρατηρήσεων  $F_n(x)$  και της θεωρητικής κατανομής  $F(x)$  σε κάθε σημείο, έστω  $x_0$ , έχει η ίδια μια κατανομή με μέση τιμή ίση με μηδέν και τυπική απόκλιση  $\sigma_{K-S}$  η τιμή της οποίας ακουθεί τη διωνυμική κατανομή σύμφωνα με τη σχέση:

$$\sigma_{K-S} = \sqrt{\frac{F(x_0) \cdot [1 - F(x_0)]}{n}}$$

#### 4.2.2.3 Anderson-Darling (A-D) Statistic

Η μέθοδος A-D βασίζεται στη συνάρτηση  $A_n^2$  η οποία ορίζεται ως εξής:

$$A_n^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} |F_n(x) - F(x)|^2 \cdot \Psi(x) \cdot f(x) dx$$

Όπου,

$$\Psi(x) = \frac{n}{F(x) \cdot \{1 - F(x)\}}$$

$n$  = ο συνολικός αριθμός των δεδομένων του δείγματος

$F(x)$  = η συνάρτηση της επιλεγμένης κατανομής

$f(x)$  = η συνάρτηση πυκνότητας της επιλεγμένης κατανομής

$F_n(x) = i/n$

$i$  = η θέση του σημείου κατ'άθροισμα

Η μέθοδος A-D είναι μια πιο εξελιγμένη εκδοχή της μεθόδου K-S. Είναι πιο ισχυρή σαν μέθοδος για τους παρακάτω λόγους:

- Η συνάρτηση  $\Psi(x)$  αντισταθμίζει την υψηλή διακύμανση  $\sigma_{K-S}^2$  των κατακόρυφων αποστάσεων μεταξύ της κατανομής των δεδομένων και της επιλεγμένης κατανομής.
- Η συνάρτηση  $f(x)$  σταθμίζει τις διακυμάνσεις των παρατηρήσεων ώστε μια τιμή να παράγεται σε αυτή τη  $x$ -τιμή.
- Οι κατακόρυφες αποστάσεις ολοκληρώνονται σε όλο το εύρος των τιμών  $x$ , ώστε να γίνεται χρήση όσο δυνατόν μεγαλύτερου ποσοστού του δείγματος.

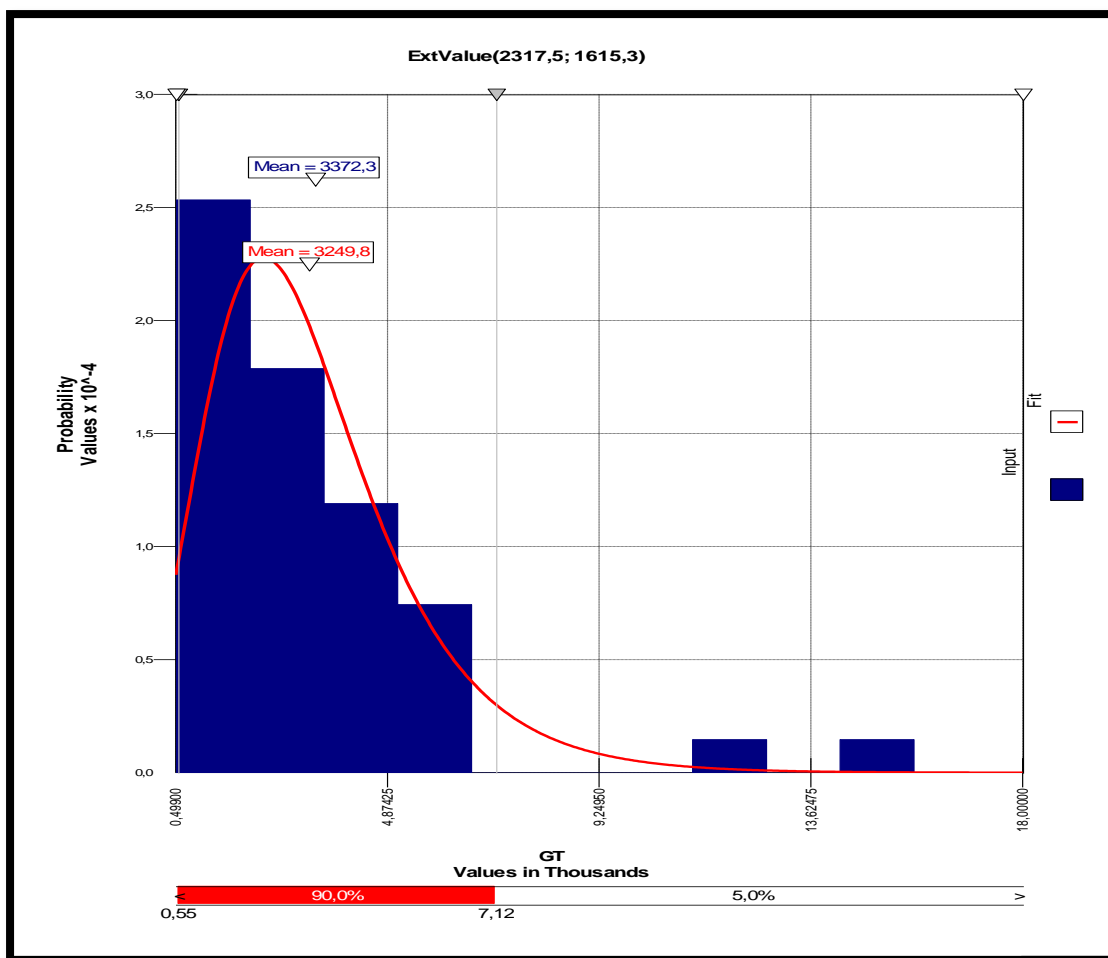
Η μέθοδος A-D είναι πιο χρήσιμη από τη μέθοδο K-S, ειδικά όπου είναι σημαντικό η επιλεγμένη κατανομή να περιγράφει τα δεδομένα τόσο στις ακραίες τιμές όσο και στο κύριο τμήμα της κατανομής. Παρουσιάζει όμως, όπως και η μέθοδος A-D, το ίδιο πρόβλημα ότι η επιλεγμένη κατανομή πρέπει να υπολογίζεται θεωρητικά και όχι να υπολογίζεται από τα δεδομένα.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί κάποια εναλλακτικά κριτήρια για την αποφυγή των προβλημάτων που προκύπτουν από τις παραπάνω μεθόδους.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, η επιλογή των πιθανοθεωρητικών κατανομών για κάθε παράμετρο έγινε με βάση τη συνάρτηση Chi-squared ( $\chi^2$ ). Το υπολογιστικό πακέτο που χρησιμοποιήθηκε είναι το **@Risk**. Το περιβάλλον του προγράμματος και ο τρόπος ρύθμισης των απαραίτητων παραμέτρων παρουσιάζεται στο παράρτημα Γ.

Έτσι, για την πρώτη παράμετρο, το μέγεθος του πλοίου προέκυψε η κατανομή του επόμενου σχήματος.





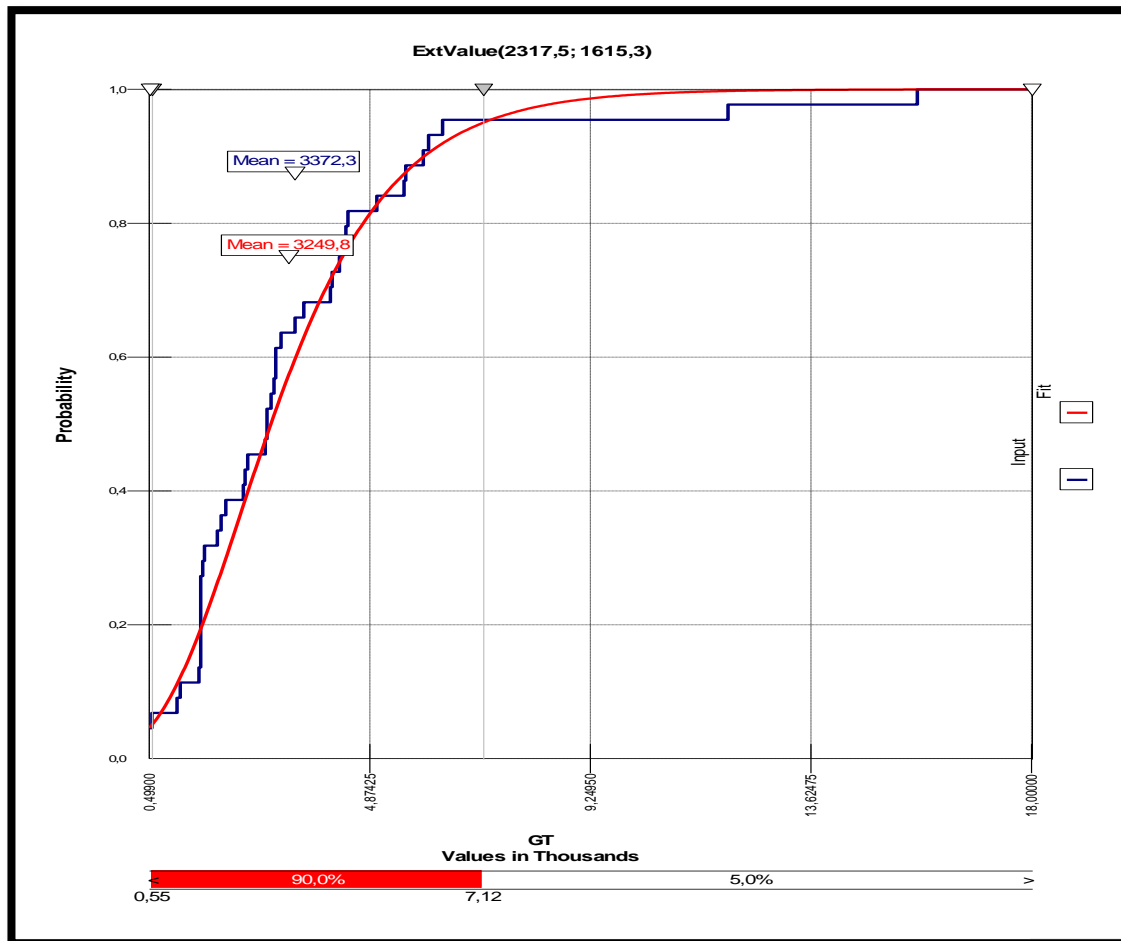
Σχήμα 4.5:Πιθανοθεωρητική Κατανομή της παραμέτρου GT.

Στο παραπάνω γράφημα, με μπλε χρώμα απεικονίζεται η κατανομή που προκύπτει από τα δεδομένα του δείγματος ενώ, με κόκκινο χρώμα είναι η επιλεγμένη κατανομή με βάση το Chi Squared test που θεωρείται ότι περιγράφει καλύτερα τα δεδομένα μας. Στον x-άξονα είναι οι τιμές GT σε χιλιάδες και στον y-άξονα είναι οι τιμές πιθανότητας. Η μπάρα στο κάτω μέρος του γραφήματος απεικονίζει το ποσοστό των δεδομένων που βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών. Παρατηρούμε ότι η διαφορά των 2 μέσων τιμών είναι πάρα πολύ μικρή. Η κατανομή που επιλέχθηκε για την παράμετρο GT, όπως φαίνεται στο πάνω μέρος του γραφήματος είναι η **ExtValue(2317.5;1615.3)**. Πριν όμως γίνει μια μικρή αναφορά στα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης κατανομής, θα δόσουμε μια εναλλακτική απεικόνιση των δύο κατανομών, αυτής των δεδομένων και της επιλεγμένης. Στο παρακάτω σχήμα, απεικονίζονται οι δύο αντίστοιχες αθροιστικές συναρτήσεις κατανομής. Τα χρώματα απεικόνισης είναι τα ίδια με το αρχικό διάγραμμα. Παρατηρούμε ότι και σε αυτήν την περίπτωση απεικόνισης, η επιλεγμένη κατανομή αποδίδει σε μεγάλο βαθμό τα δεδομένα του δείγματος. Βέβαια, πέραν της οπτικής επιβεβαίωσης, παρατίθενται και οι τιμές χαρακτηριστικών μεγεθών των δύο κατανομών για έναν πιο ενδελεχή έλεγχο.

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά μεγέθη των κατανομών της παραμέτρου GT.

N/A	Fit	Input
Function	RiskExtvalue(2317,5; 1615,3)	N/A
Shift	N/A	N/A
a	2317,480353	N/A

b	1615,288284	N/A
Minimum	-infinity	499
Maximum	+infinity	15737
Mean	3249,8	3372,3
Median	2909,5	2814,5
Std. Deviation	2071,7	2826,4
Variance	4291890	7807147



Σχήμα 4.6: Αθροιστικές συναρτήσεις κατανομών για την παράμετρο GT.

## Κατανομή Gumbel

Η κατανομή ακραίας τιμής (Extreme Value) ή αλλιώς κατανομή **Gumbel**, που πήρε το όνομά της από τον Emil Julius Gumbel (1891-1966), χρησιμοποιείται για να μοντελοποιήσει τη συνάρτηση των μέγιστου (ή των ελάχιστου) από ένα δείγμα ποικίλων κατανομών. Για παράδειγμα, χρησιμοποιείται για την περιγραφή της μέγιστης στάθμης ενός ποταμιού, ή για την πρόβλεψη ενός μεγάλου σεισμού, μιας μεγάλης πλημμύρας ή άλλων φυσικών καταστροφών. Η ιδιότητα αυτή της κατανομής Gumbel, δηλαδή η περιγραφή μια μέγιστης κατάστασης, σχετίζεται με τη θεωρία ακραίων τιμών (extreme value theory), η οποία υποδεικνύει ότι είναι χρήσιμο αν η κατανομή που περιγράφει το δείγμα είναι η κανονική (normal) ή η εκθετική (exponential). Η κατανομή Gumbel ανήκει στην οικογένεια των

κατανομών ακραίων τιμών και είναι επίσης γνωστή στην βιβλιογραφία ως κατανομή log-Weibull ή και διπλή εκθετική κατανομή (double exponential distribution).

Η κατανομή Gumbel μαθηματικά ορίζεται με βάση την τιμή δύο παραμέτρων  $\alpha$  και  $\beta$ . Η εξίσωση της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας  $f$  και της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής  $F$  είναι οι παρακάτω:

$$f(x;\alpha;\beta) = \frac{\frac{a-x}{\beta}}{e^{\beta - (e^{-\frac{a-x}{\beta}})}} \quad \text{και} \quad F(x;\alpha;\beta) = e^{-e^{-\frac{x-a}{\beta}}}$$

Η μέση τιμή ορίζεται από τη σχέση  $\alpha + \gamma \cdot \beta$ , όπου  $\gamma$  είναι η σταθερά Euler-Mascheroni και ισούται με 0,5772156649015328606. Ο διάμεσος είναι  $\alpha - \beta \cdot \ln(\ln 2)$ , ενώ η τυποκή απόκλιση είναι  $\beta \cdot \pi / \sqrt{6}$ .

Η τυπική Gumbel κατανομή ορίζεται για  $\alpha=0$  και  $\beta=1$ . Σε αυτήν την περίπτωση οι παραπ,ανω συναρτήσεις απλοποιούνται στην εξής μορφή:

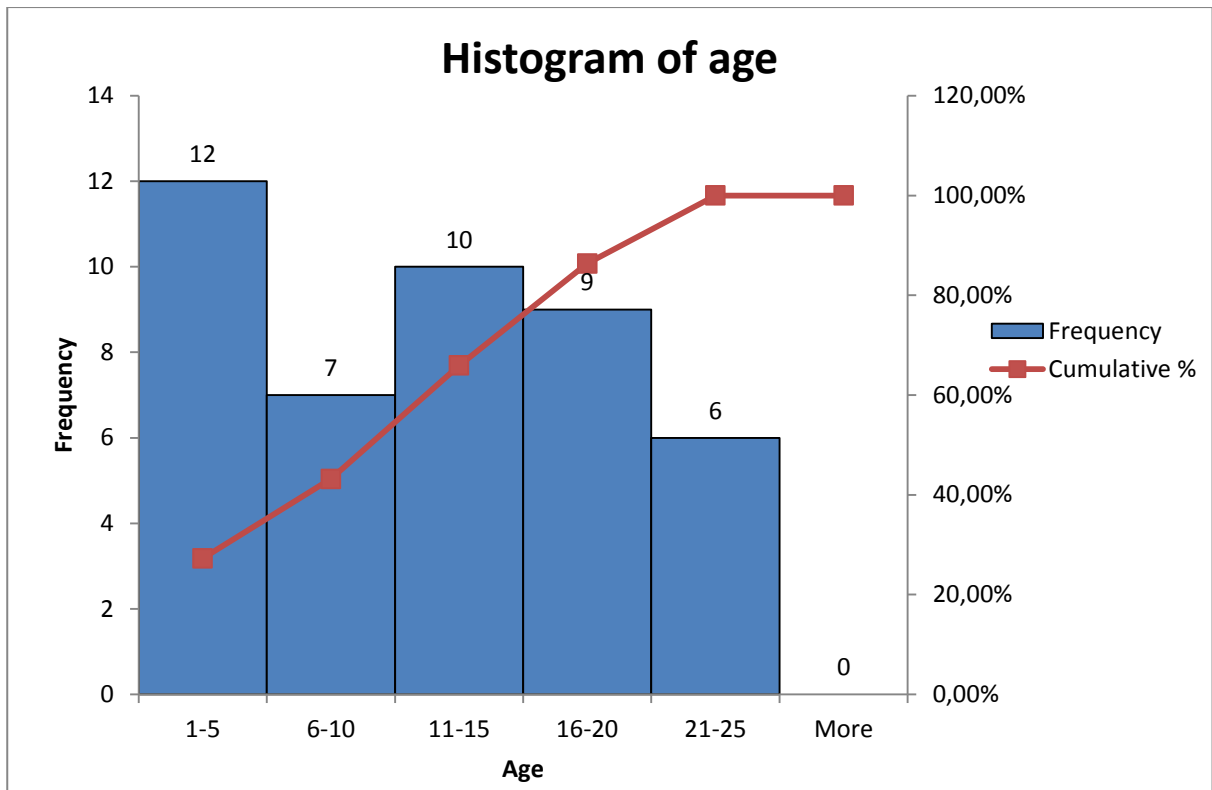
$$f(x) = e^{-x} \cdot e^{-e^{-x}} \quad \text{και} \quad F(x) = e^{-e^{-x}}$$

### 4.2.3 Ηλικία του πλοίου

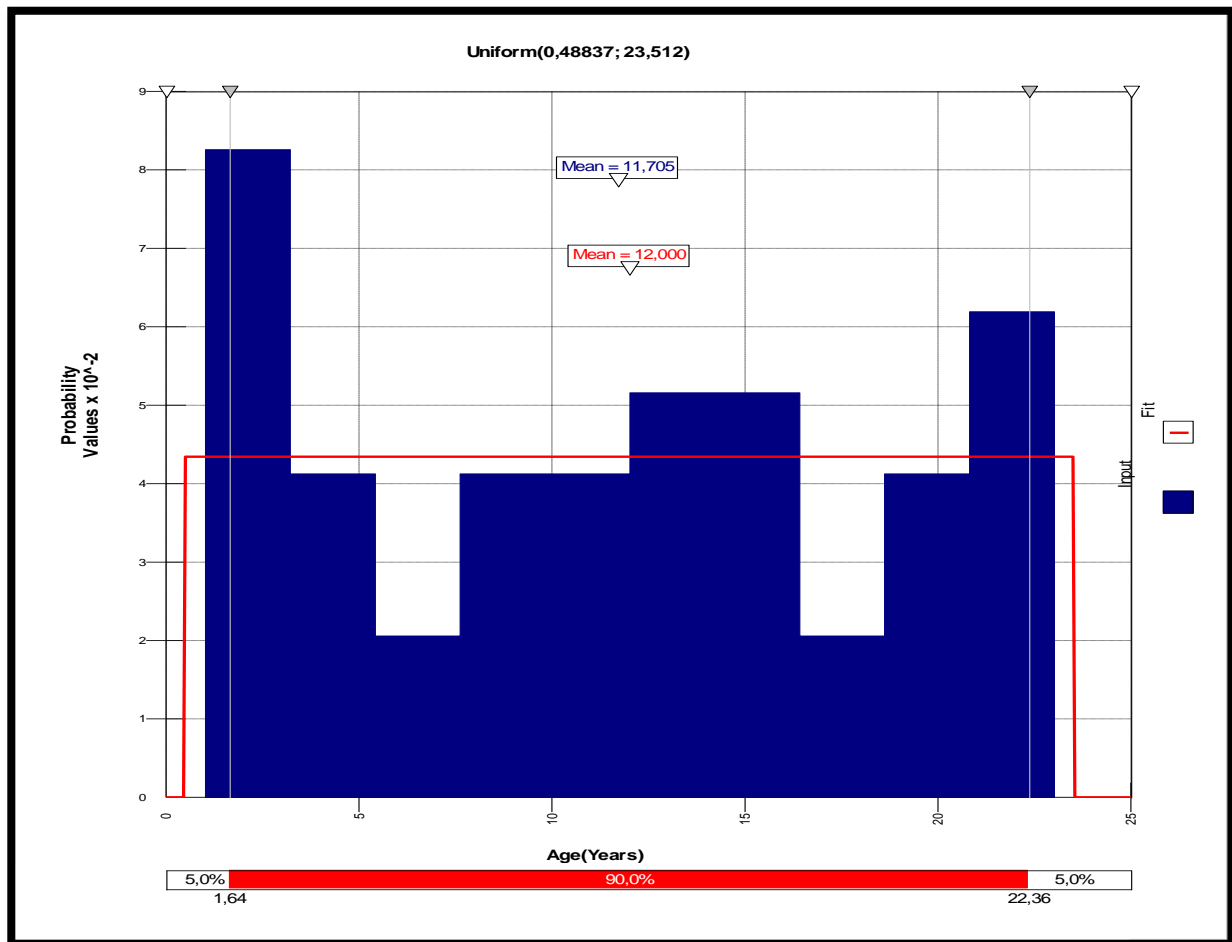
Δεύτερη παράμετρος που επιλέχθηκε να μελετηθεί είναι η ηλικία του πλοίου. Η ηλικία ενός πλοίου, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο της εργασίας πρόκειται από τη χρονολογική αφαίρεση της ημερομηνίας κτίσης του πλοίου από την ημερομηνία του ατυχήματος όπως αυτές δίνονται στις αναφορές της βάσης δεδομένων της Sea-Web. Για παράδειγμα, αν ημερομηνία κτίσης είναι 06/08/1991 και ημερομηνία ατυχήματος είναι 23/10/1998 τότε η ηλικία του πλοίου τη στιγμή του ατυχήματος ήταν 2635 ημέρες δηλαδή 7,22 έτη. Από τις παρατηρήσεις πρόκευσε το παρακάτω ιστόγραμμα.

Παρατηρούμε ότι τα ατυχήματα πλοίων ηλικίας 1-5 ετών είναι τα πιο συχνά ανάμεσα στο δείγμα, χωρίς όμως να κάποια κατηγορία να κυριαρχεί έναντι των άλλων. Στη συνέχεια, παρατίθενται τα γραφήματα σύγκρισης των συναρτήσεων πυκνότητας πιθανότητας και των αθροιστικών κατανομών για τις τιμές του δείγματος (μπλε χρώμα) και της κατανομής που επιλέχθηκε για να τα περιγράψει από το πρόγραμμα @Risk (κόκκινο χρώμα). Η κατανομή που επιλέχθηκε είναι η ομοιόμορφη κατανομή (uniform distribution) με παραμέτρους  $\alpha = 0.48837$  και  $b = 23.512$ . Δηλαδή η **uniform(0.48837;23.512)**. Οι μέσες τιμές των δύο κατανομών είναι παραπλήσιες ενώ για τη σύγκριση άλλων στατιστικών μεγεθών απάντηση δίνει ο πίνακας 4.2.

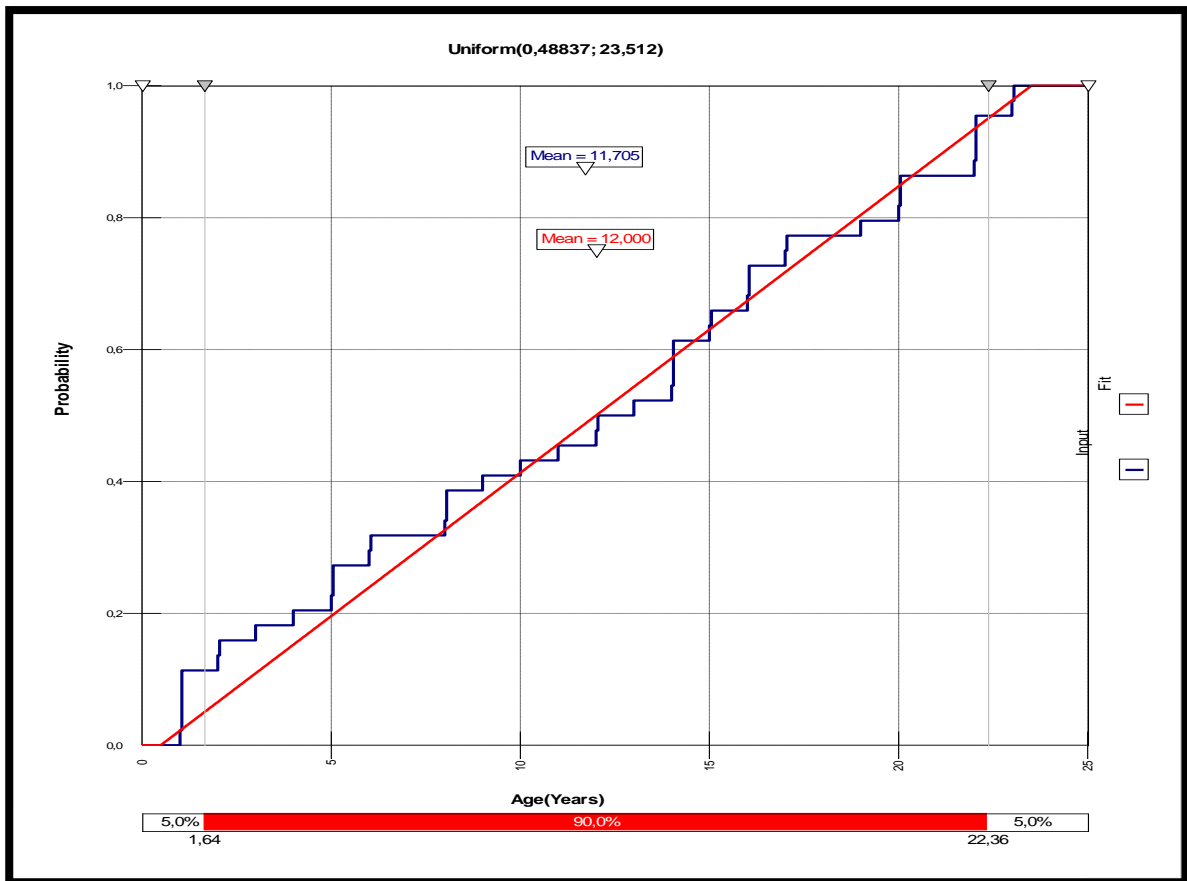
Μερικά γενικά στοιχεία για τη συγκεκριμένη κατανομή αναφέρονται αμέσως μετά τα επόμενα γραφήματα.



Σχήμα 4.7: Ιστόγραμμα της ηλικίας των πλοίων



Σχήμα 4.8: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για την ηλικία του πλοίου.



Σχήμα 4.9:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής για την ηλικία του πλοίου.

Πίνακας 4.2:Χαρακτηριστικά μεγέθη των κατανομών για την ηλικία του πλοίου τη στιγμή του ατυχήματος.

N/A	Fit	Input
Function	RiskUniform(0,48837; 23,512)	N/A
Shift	N/A	N/A
min	0,488372093	N/A
max	23,51162791	N/A
Minimum	0,48837	1
Maximum	23,512	23
Mean	12	11,705
Median	12	12,5
Std. Deviation	6,6462	7,2226
Variance	44,173	50,981

### Ομοιόμορφη κατανομή(Uniform distribution)

Μια τυχαία μεταβλητή X λέμε ότι ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή όταν η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας είναι:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & ,για\ a \leq x \leq b \\ 0 & ,για\ a < x < b \end{cases}$$

Η  $f(x)$  έχει τις παρακάτω ιδιότητες:

$$1^{ov}) f(x) \geq 0$$

$$2^{ov}) \int_a^b \frac{dx}{b-a} = \frac{1}{b-a} \cdot \int_a^b dx = \frac{b-a}{b-a} = 1$$

Η αθροιστική συνάρτηση κατανομής είναι:

$$F(x) = \begin{cases} 0 & , \text{αν } x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & , \text{αν } a \leq x \leq b \\ 1 & , \text{αν } x > b \end{cases}$$

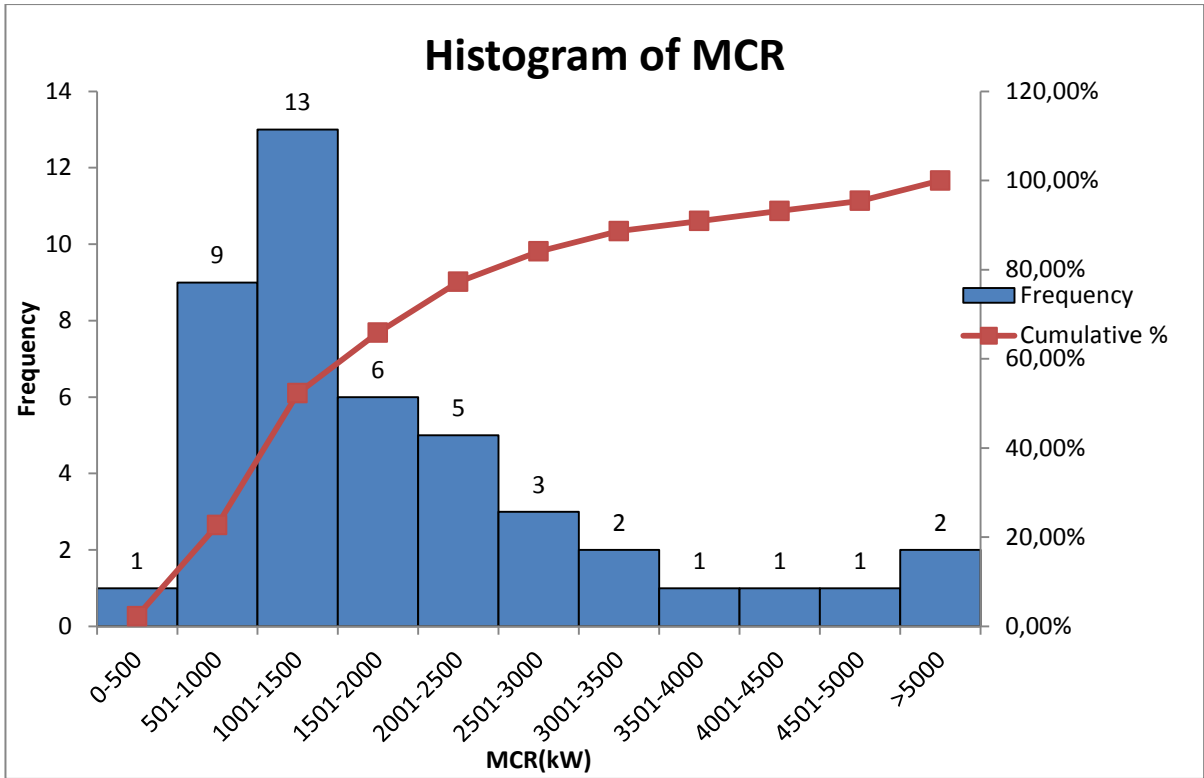
Η τιμή που λαμβάνουν τα άκρα του διαστήματος μπορεί να είναι είτε μηδέν είτε  $1/b-a$ , διότι σε κάθε περίπτωση δε μεταβάλλεται καμία τιμή παραγώγου ή ροπής της συνάρτησης. Προτιμάται συνήθως η δεύτερη τιμή. Προφανώς η μέση τιμή δίνεται από τη σχέση  $\mu = \frac{a+b}{2}$ , ενώ η διακύμανση ισούται με  $\frac{1}{12} \cdot (b-a)^2$ .

Για  $a=0$  και  $b=1$ , παίρνουμε την τυπική ομοιόμορφη κατανομή. Μια ενδιαφέρουσα ιδιότητα της τυπικής ομοιόμορφης κατανομής είναι πως αν η μεταβλητή  $x_1$  ακολουθεί την  $U(0,1)$  τότε και η  $1-x_1$  ακολουθεί επίσης την  $U(0,1)$ .

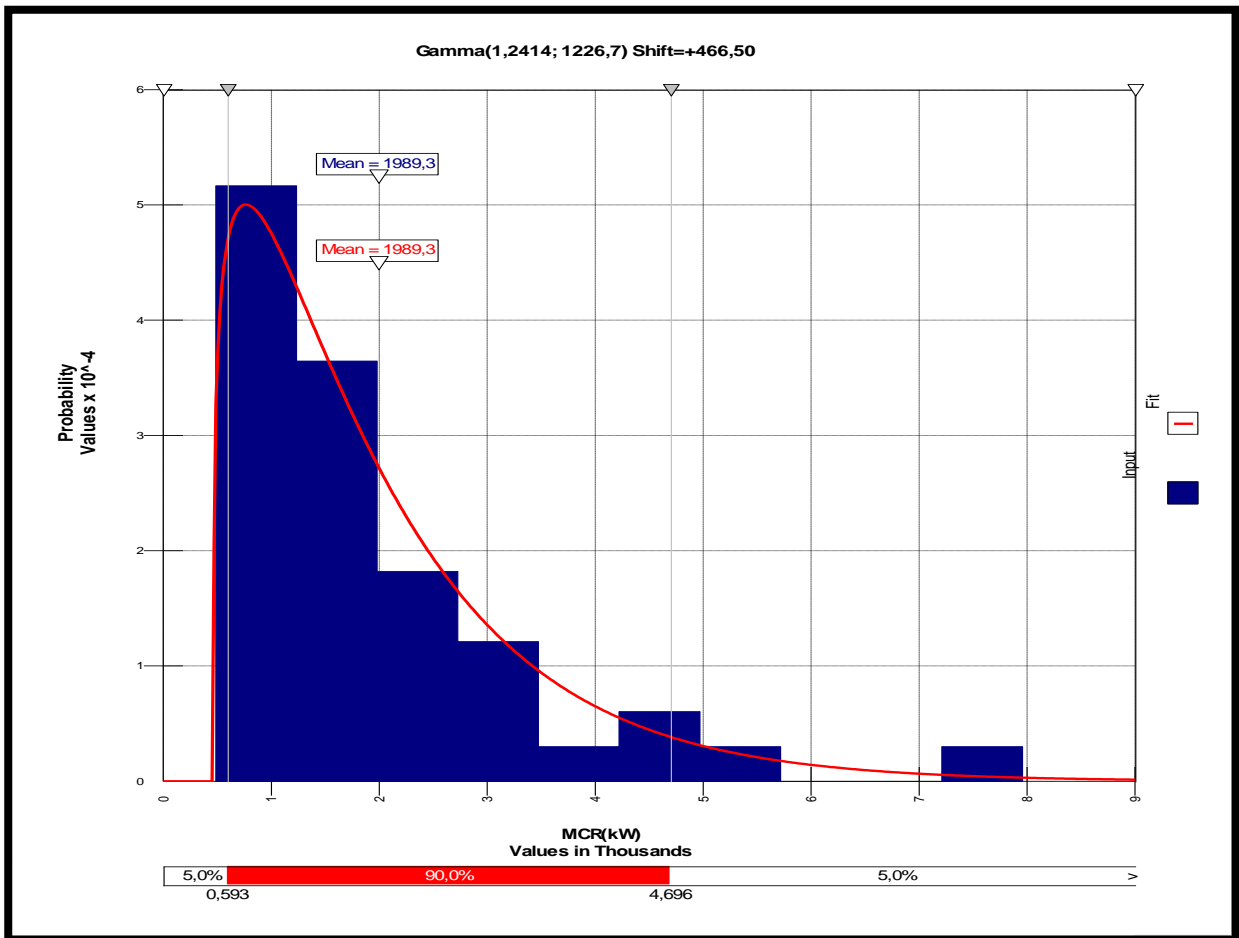
Χαρακτηριστική εφαρμογή της ομοιόμορφης κατανομής είναι στα στατιστικά τεστ της μορφής που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Εάν έχουμε μια απλή μηδενική υπόθεση και η κατανομή του τεστ είναι συνεχής, τότε η  $p$ -value που μας επιστρέφει το τεστ κατανέμεται ομοιόμορφα ανάμεσα στο 0 και στο 1, αν η μηδενική υπόθεση είναι αληθής.

#### 4.2.4 Ισχύς του πλοίου (MCR)

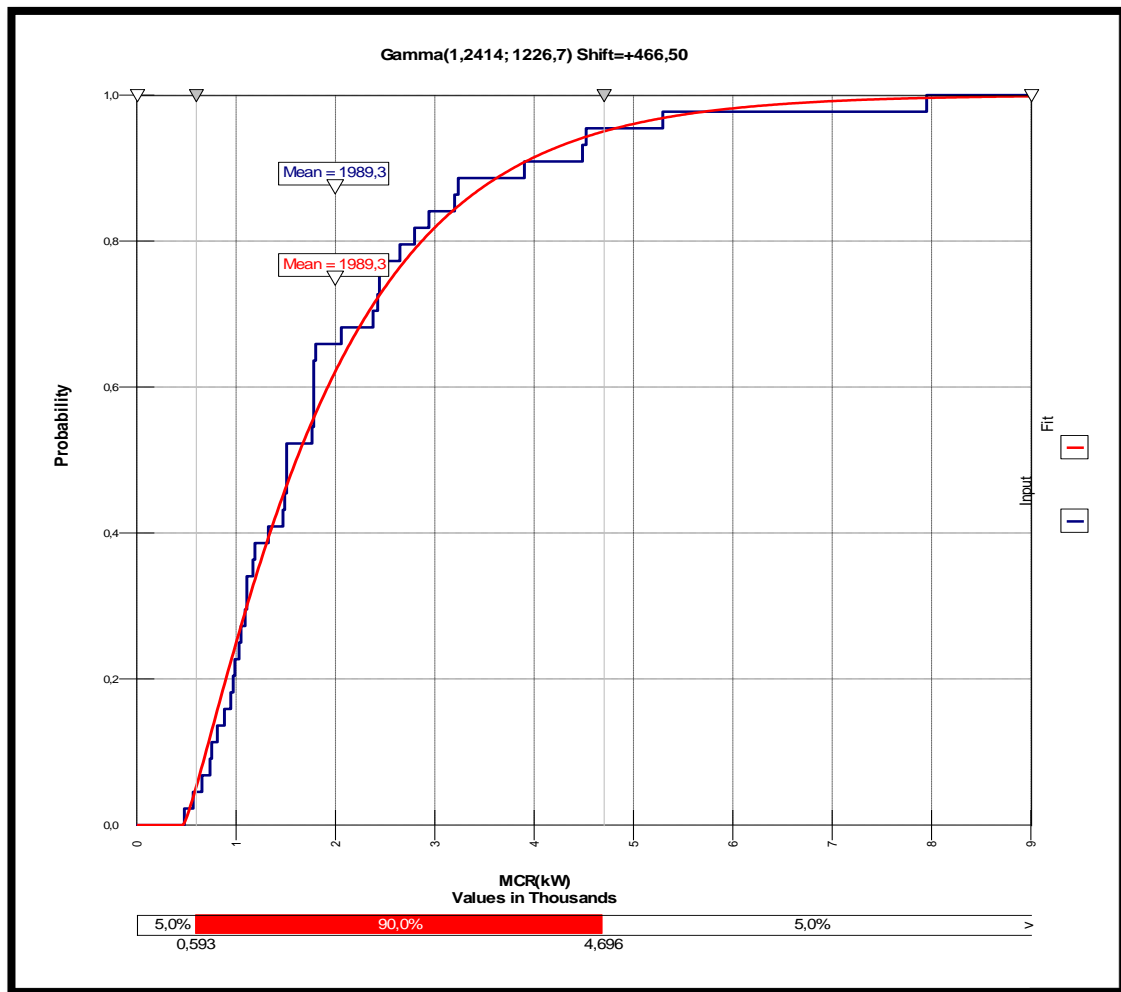
Για το δείγμα που επιλέχθηκε, καταγράφηκε η τιμή του MCR, διότι η τιμή της μέγιστης ταχύτητας δεν ήταν διαθέσιμη για όλα τα πλοία, με σκοπό να εξεταστεί αν σχετίζεται στατιστικά με το φαινόμενο ενός ατυχήματος. Αρχικά, παρουσιάζεται το ιστόγραμμα των στοιχείων του δείγματος και στη συνέχεια τα γραφήματα που εξήχθησαν από το πρόγραμμα @Risk για την απόδοση κατανομής στα στοιχεία. Τόσο η καμπύλη της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας όσο και αυτή της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής προσεγγίζουν πολύ καλά τα δεδομένα. Οι μέσες τιμές είναι ακριβώς οι ίδιες. Υπενθυμίζουμε ότι με κόκκινο χρώμα είναι η επιλεγμένη κατανομή και με μπλε αυτή των δεδομένων. Τα υπολοιπά στατιστικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3. Πρόκυψε λοιπόν ότι η κατανομή που περιγράφει καλύτερα (με βάση το Chi squares test) τα δεδομένα είναι η κατανομή γάμμα με παραμέτρους  $\alpha=1,2414$  και  $\beta=1226,7$ . Δηλαδή η **Gamma(1,2414;1226,7)**. Περισσότερα στοιχεία για τη συγκεκριμένη κατανομή παρατίθενται στη συνέχεια.



Σχήμα 4.10: Ιστόγραμμα της ισχύος των πλοίων



Σχήμα 4.11: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για την ισχύ του πλοίου.



Σχήμα 4.12: Αθροιστική συνάρτηση κατανομής για την ισχύ του πλοίου.

Πίνακας 4.3: Χαρακτηριστικά μεγέθη των κατανομών για την ισχύ των πλοίων.

N/A	Fit	Input
Function	RiskGamma(1,2414; 1226,7; RiskShift(466,5))	N/A
Shift	466,5040012	N/A
a	1,241377188	N/A
b	1226,658596	N/A
Minimum	466,5	500
Maximum	+infinity	7950
Mean	1989,3	1989,3
Median	1605,4	1500
Std. Deviation	1366,7	1455,2
Variance	1867889,5	2069377,8



## Κατανομή Γάμμα

Μια τυχαία μεταβλητή  $X$  λέγεται ότι ακολουθεί τη Γάμμα κατανομή όταν η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας αυτής έχει τη μορφή:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta^\alpha \cdot \Gamma(\alpha)} \cdot x^{\alpha-1} \cdot e^{-\frac{x}{\beta}} & , \text{αν } x > 0 \\ 0 & , \text{αν } x \leq 0 \end{cases}$$

Οι παράμετροι  $\alpha$  και  $\beta$  καλούνται σχήμα(shape) και κλίμακα(scale) και είναι πάντα θετικές. Η συνάρτηση  $\Gamma(v)$  είναι η συνάρτηση γάμμα και ορίζεται ως εξής:

$$\Gamma(v) = \int_0^\infty x^{v-1} \cdot e^{-x} dx$$

Η συνάρτηση γάμμα ικανοποιεί τις παρακάτω σχέσεις:

1<sup>ov</sup>)  $\Gamma(v+1) = v \cdot \Gamma(v)$

2<sup>ov</sup>)  $\Gamma(1) = 1$

3<sup>ov</sup>)  $\Gamma(v) = (v-1)!$  ,αν  $v$  φυσικός αριθμός

Η μέση τιμή και η διακύμανση δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$E(X) = \mu = \alpha \cdot \beta \text{ και } \sigma_x^2 = \alpha \cdot \beta^2$$

Άλλα ενδιαφέροντα στοιχεία για την κατανομή Γάμμα είναι πως είναι η κατανομή με τη μέγιστη εντροπία αν η τυχαία μεταβλητή έχει μια γνωστή μέση τιμή  $E(X) = \kappa > 0$  και ισχύει  $E(\ln(X)) = \psi(\kappa)$ , όπου  $\psi$  είναι η συνάρτηση δί-γάμμα.

Η κατανομή Γάμμα βρίσκει εφαρμογές σε μοντέλα παλινδρόμησης Poisson διότι ο συνδυασμός των κατανομών Gamma και Poisson μας δίνει την αρνητική διωνυμική κατανομή (negative binomial distribution).

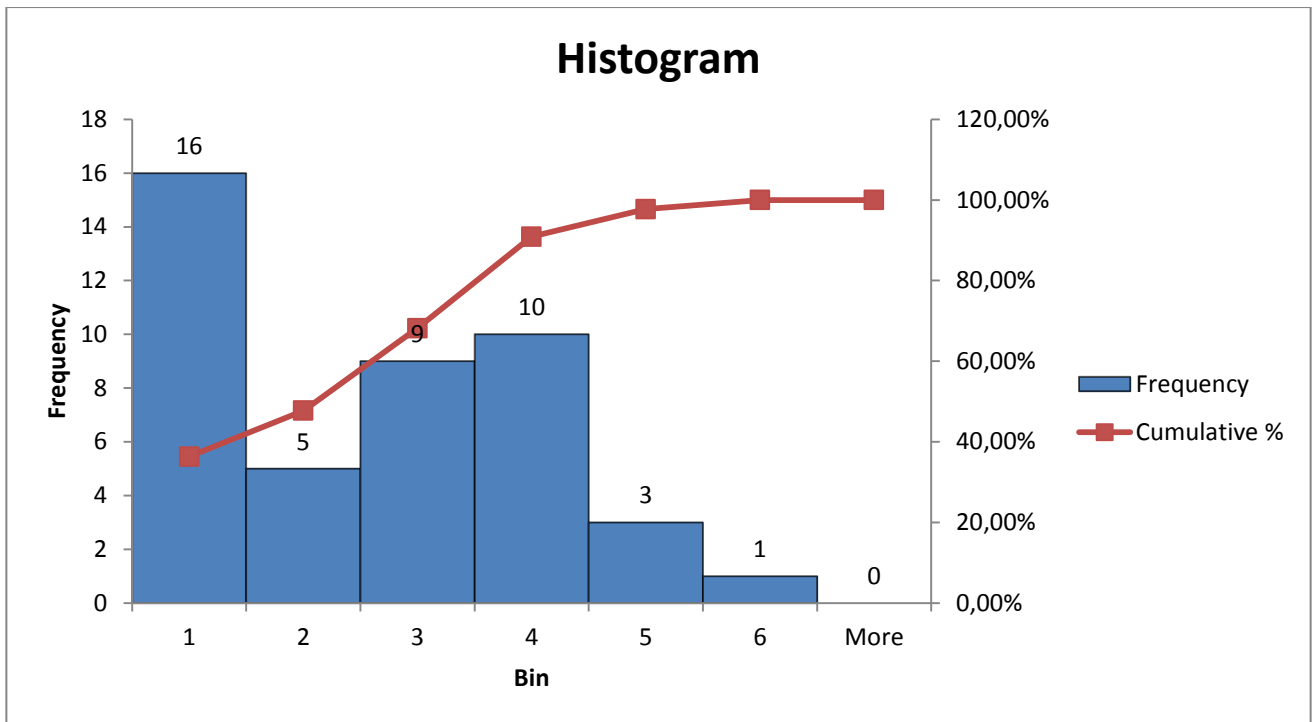
Η κατανομή Γάμμα έχει γενικά ευρεία χρήση στη Φυσική, την Ιατρική και τη Στατιστική.

### 4.2.5 Τύπος Ατυχήματος

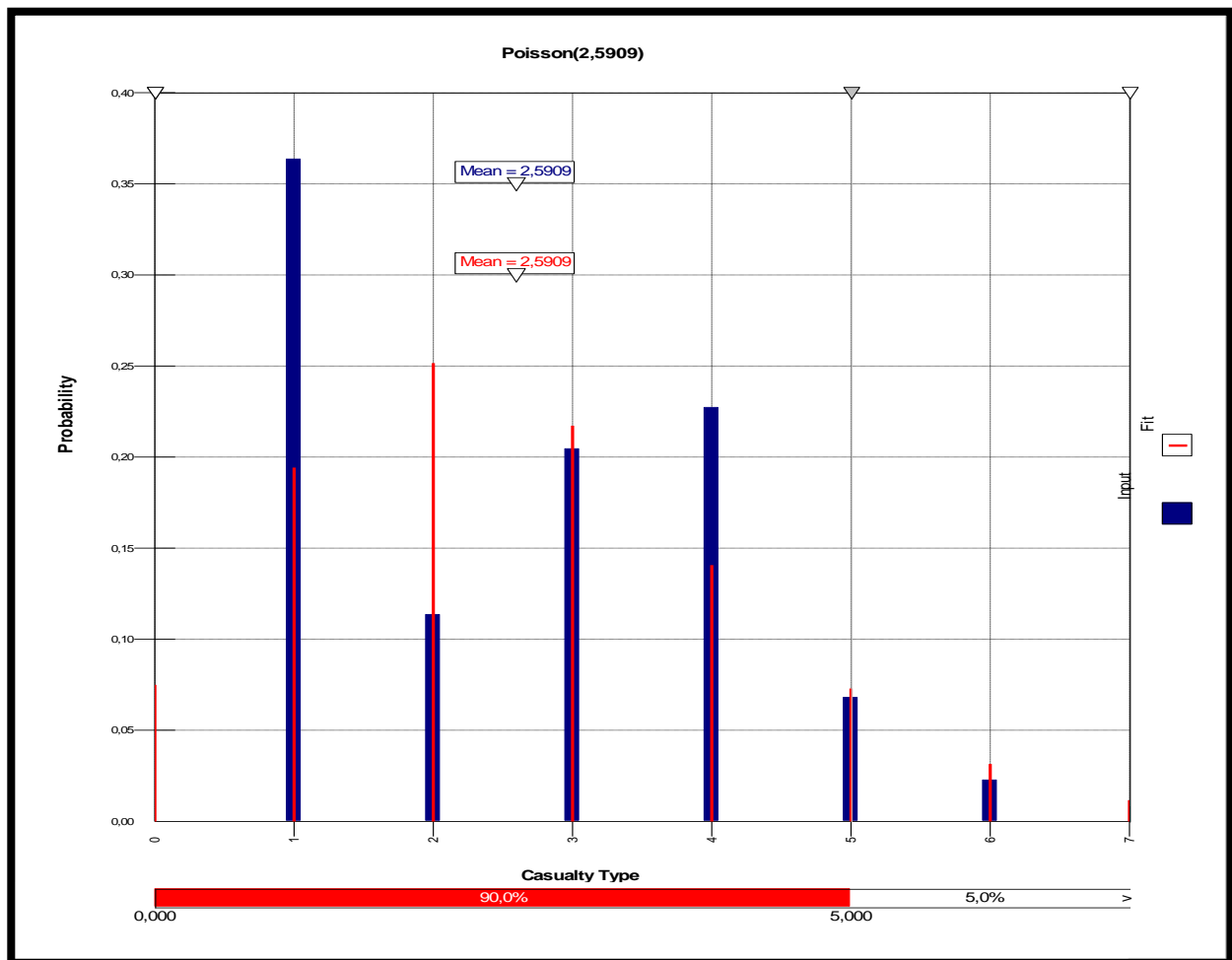
Όπως έχει ήδη πλήρως αναλυθεί από την αρχή, η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει ναυτικά ατυχήματα πλοίων τύπου Γ/Φ που ανήκουν στις παρακάτω 6 κατηγορίες.

- Foundered
- Wrecked/Stranded
- Fire/Explosion
- Collision
- Contact
- Hull/Machinery Damage

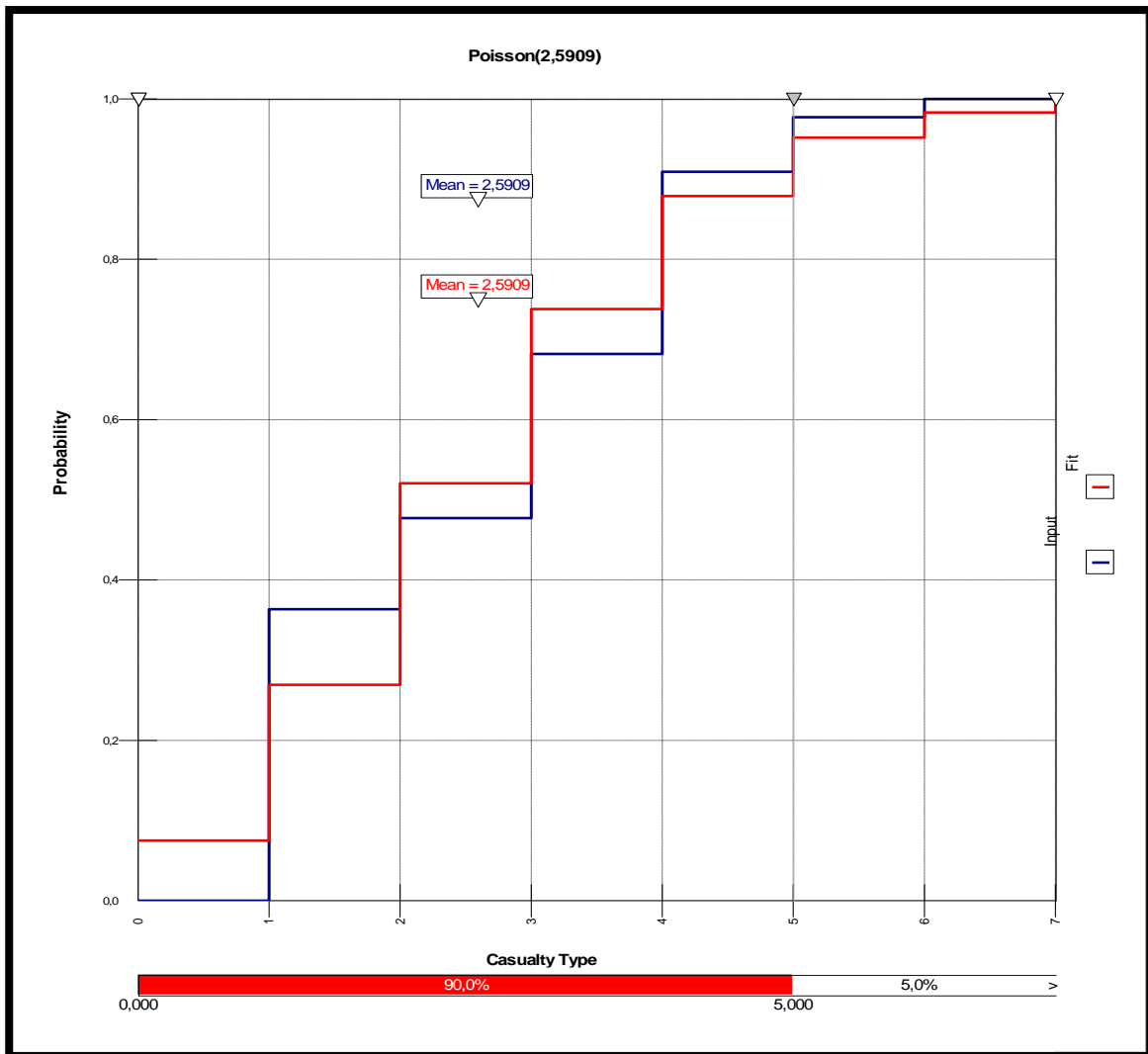
Στο σημείο αυτό, για να μπορέσουμε να έχουμε μια μαθηματική απεικόνιση της συγκεκριμένης παραμέτρου, αποφασίστηκε να αντιστοιχιστεί ένας αριθμός για κάθε κατηγορία ατυχήματος. Η κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε είναι η 1-6 με τη σειρά που δόθηκε παραπάνω, δηλαδή, Foundered → 1, Wrecked/Stranded → 2, Fire/Explosion → 3, Collision → 4, Contact → 5, Hull/Machinery Damage → 6. Οι τιμές πλέον εισάγονται ως διακριτές  $\kappa$  όχι ως συνεχείς και η κατανομή που επιλέχτηκε ως αυτή που περιγράφει καλύτερα τα δεδομένα είναι η κατανομή **Poisson** με παράμετρο  $\lambda = 2,5909$ . Παρακάτω, φαίνεται το ιστόγραμμα των δεδομένων και τα γραφήματα που εξήχθησαν από το πρόγραμμα @Risk. Τέλος, γίνεται μια σύντομη αναφορά στην κατανομή Poisson.



Σχήμα 4.13: Ιστόγραμμα για τον τύπο του ατυχήματος.



Σχήμα 4.14: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για τον τύπο του ατυχήματος.



Σχήμα 4.15:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής για τον τύπο του ατυχήματος.

Σημείωση

Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως αν οι τιμές της κλίμακας 1-6 είχαν αποδοθεί με διαφορετικό τρόπο στους διάφορους τύπους των ατυχημάτων το ιστόγραμμα των δεδομένων θα πρόεκυπτε διαφορετικό.Κατα συνέπεια,ναι μεν θα προέκυπτε πάλι η κατανομή Poisson ως αυτή που περιγράφει βέλτιστα τα δεδομένα,η παράμετρος λ όμως της κατανομής θα είχε διαφορετική τιμή.Επιλέχτηκε στην εργασία η κωδικοποίηση των ατυχημάτων που αναφέρθηκε προτύτερα.

Πίνακας 4.4:Χαρακτηριστικά μεγέθη των κατανομών για τον τύπο του ατυχήματος.

N/A	Fit	Input
Function	RiskPoisson(2,5909)	N/A
Shift	N/A	N/A
l	2,590909091	N/A
Minimum	0	1
Maximum	+infinity	6
Mean	2,5909	2,5909
Median	2	3
Std. Deviation	1,6096	1,4678
Variance	2,5909	2.1054

## Κατανομή Poisson

Πολλές φορές στην εφαρμογή της διωνυμικής κατανομής παρατηρούμε ότι η τιμή  $p$  είναι πολύ μικρή ( $<0,10$ ), ενώ το μέγεθος του δείγματος  $n$  είναι αρκετά μεγάλο ( $>50$ ). Συνεπώς, ο αριθμητικός μέσος  $E(X) = n \cdot p$ , προκύπτει ένας μικρός αριθμός μεταξύ του 0 και του 10. Έτσι λοιπόν, αν η συνεχής τυχαία μεταβλητή  $X$  ακολουθεί τη διωνυμική κατανομή, τότε για  $n \rightarrow \infty$  και  $p \rightarrow 0$ , εφαρμόζεται μια άλλη ασυνεχής θωρητική κατανομή, που καλείται κατανομή Poisson και της οποίας η συνάρτησης πιθανότητας δίνεται από τη σχέση:

$$f(X=x) = f_x = \frac{e^{-\lambda} \cdot \lambda^x}{x!}$$

Όπου,

$x=0,1,2,\dots,n$

$\lambda$  ο μέσος της κατανομής

$e = 2.71828$

$f_x$  = η πιθανότητα σε ένα δείγμα μεγέθους  $n$  να έχουμε  $x$  επιτυχίες.

Η κατανομή Poisson ανακαλύφθηκε από το Γάλλο Simeon Denis Poisson (1781-1840) στις αρχές του 19ου αιώνα.

Η διακύμανση ισούται με  $n \cdot p$ , όπως και η μέση τιμή, ενώ η τυπική απόκλιση ισούται με  $\sqrt{\lambda}$ . Χαρακτηριστικές τιμές της κατανομής Poisson δίνονται από τους συντελεστές ασυμμετρίας  $\beta_1$  και κυρτότητας  $\beta_2$ , οι οποίοι δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\beta_1 = \frac{1}{\lambda} \text{ και } \beta_2 = 3 + \frac{1}{\lambda}$$

Άρα η κατανομή Poisson γίνεται συμμετρική όσο το  $\lambda$  αυξάνει και μεσόκυρτη για  $\lambda=3$ . Ακόμη όταν η παράμετρος  $\lambda$  αυξάνεται η κατανομή Poisson τείνει να προσεγγίσει την κανονική κατανομή.

Η κατανομή Poisson χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις σπανίων γεγονότων που παρουσιάζονται σε χρονικά διαστήματα ορισμένης διάρκειας. Παραδείγματα τέτοιων γεγονότων:

1<sup>ov</sup>) ο αριθμός ατυχημάτων σε ένα ορισμένο σημείο και για μια ορισμένη χρονική περίοδο.

2<sup>ov</sup>) ο αριθμός των κλησεων που δέχεται ένα τηλεφωνικό κέντρο μέσα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

### **4.2.6 Οι Καιρικές Συνθήκες (Weather Condition)**

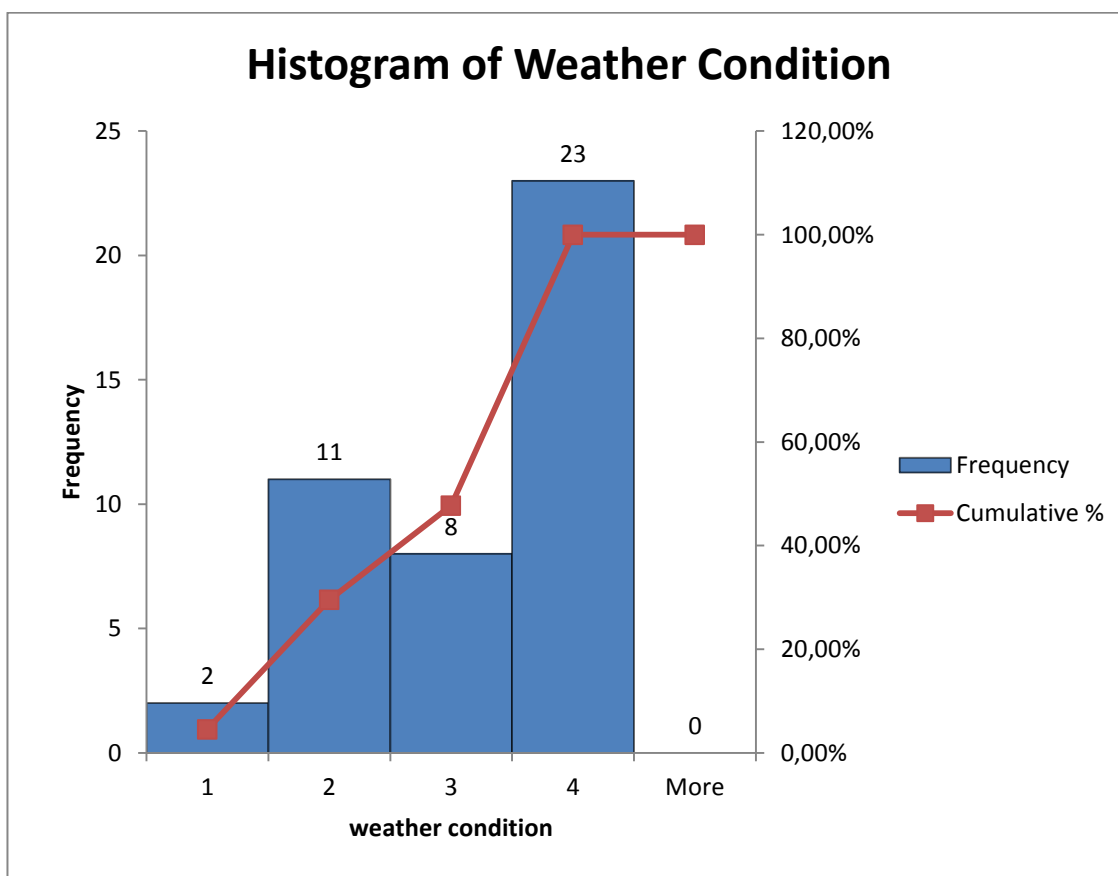
Η παράμετρος των καιρικών συνθηκών διαδραματίζει κατά γενική ομολογία σημαντικό ρόλο στο φαινόμενο των ναυτικών ατυχημάτων. Στην προσπάθεια να επιβεβαιωθεί αυτό το γεγονός, καταγράφηκαν τα στοιχεία που αφορούν σε αυτή την παράμετρο και περιέχονται στις αναφορές ατυχημάτων της βάσης δεδομένων της Sea-Web για το δείγμα ατυχημάτων που έχει επιλεγεί. Βρέθηκαν στοιχεία για τις εξής κατηγορίες:

- Good Weather
- Heavy Weather
- Hurricane
- Fog/Mist/Poor Visibility
- Unknown

Για τη μαθηματική μοντελοποίηση αυτής της παραμέτρου, έπρεπε και πάλι όπως και στην περίπτωση του τύπου των ατυχημάτων, να αποδοθούν τιμές για κάθε μια από τις παραπάνω δυνατές επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Επιλέχτηκε η εξής κωδικοποίηση:

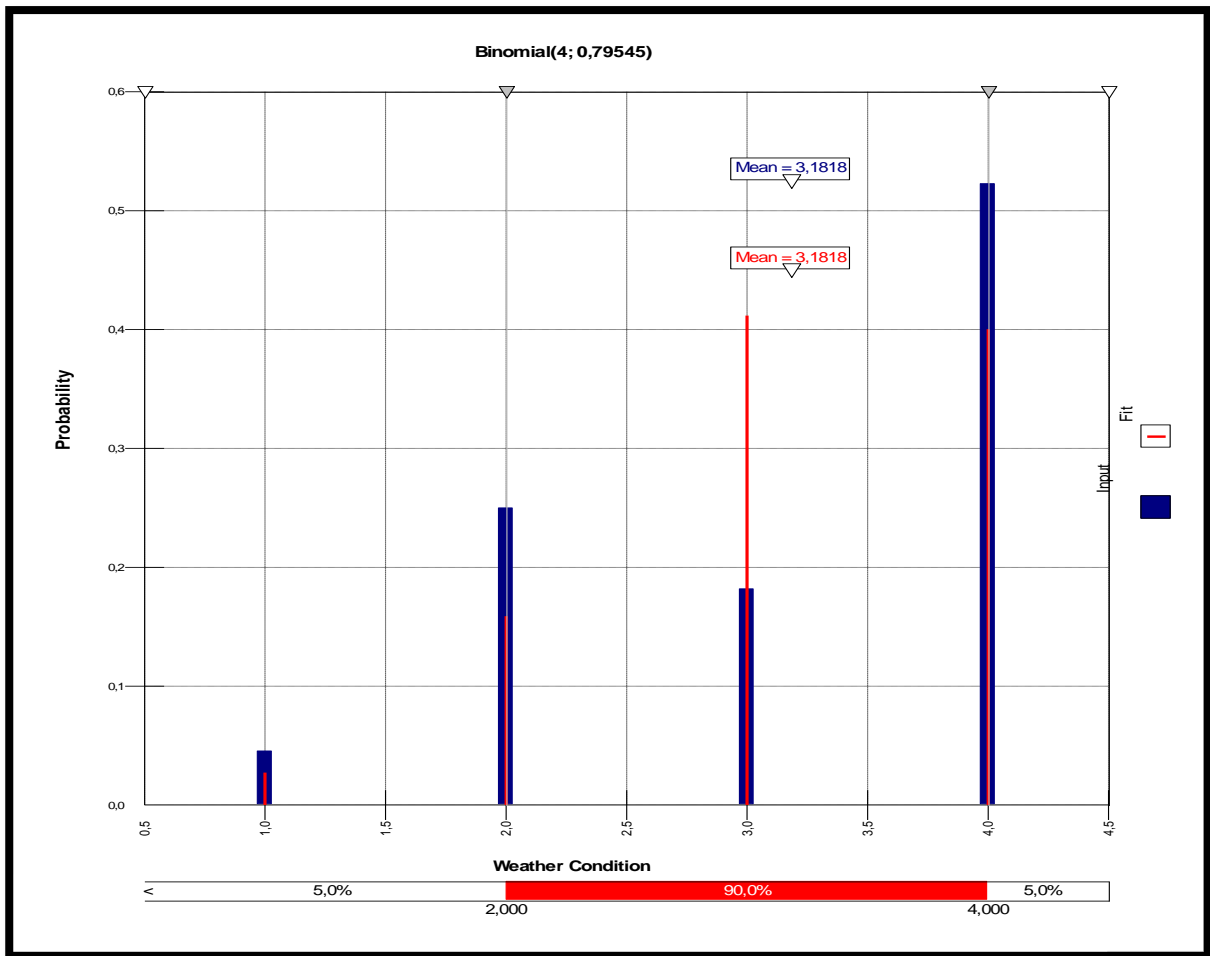
- Good Weather → 1
- Heavy Weather → 2
- { Hurricane  
Fog, Mist, Poor Visibility } → 3
- Unknown → 4

Με βάση το πρόγραμμα @Risk προέκυψε ότι η βέλτιστη κατανομή για την περιγραφή των δεδομένων είναι η διωνυμική με παραμέτρους  $n=4$  και  $p=0,79545$ . Δηλαδή, η **Binomial(4;0.79545)**. Ακολουθούν το ιστόγραμμα και τα γραφήματα σύγκρισης μεταξύ της επιλεγθείσας κατανομής και της κατανομής των δεδομένων.



Σχήμα 4.16: Ιστόγραμμα για την παράμετρο των καιρικών συνθηκών.

Και σε αυτήν την περίπτωση, διαφορετική κωδικοποίηση θα έδινε διαφορετικό ιστόγραμμα και πιθανότατα θα καταλήγαμε στην επιλογή διαφορετικής κατανομής. Σε κάθε περίπτωση όμως δεν αλλάζει η συχνότητα εμφάνισης της κάθε παρατηρηθείσας κατάστασης καιρικών συνθηκών. Με άλλα λόγια, για κάθε πιθανό ιστόγραμμα και κατά συνέπεια θεωρητική κατανομή, η αποκωδικοποίηση θα οδηγούσε στην ανάγνωση ίδιων αποτελεσμάτων.

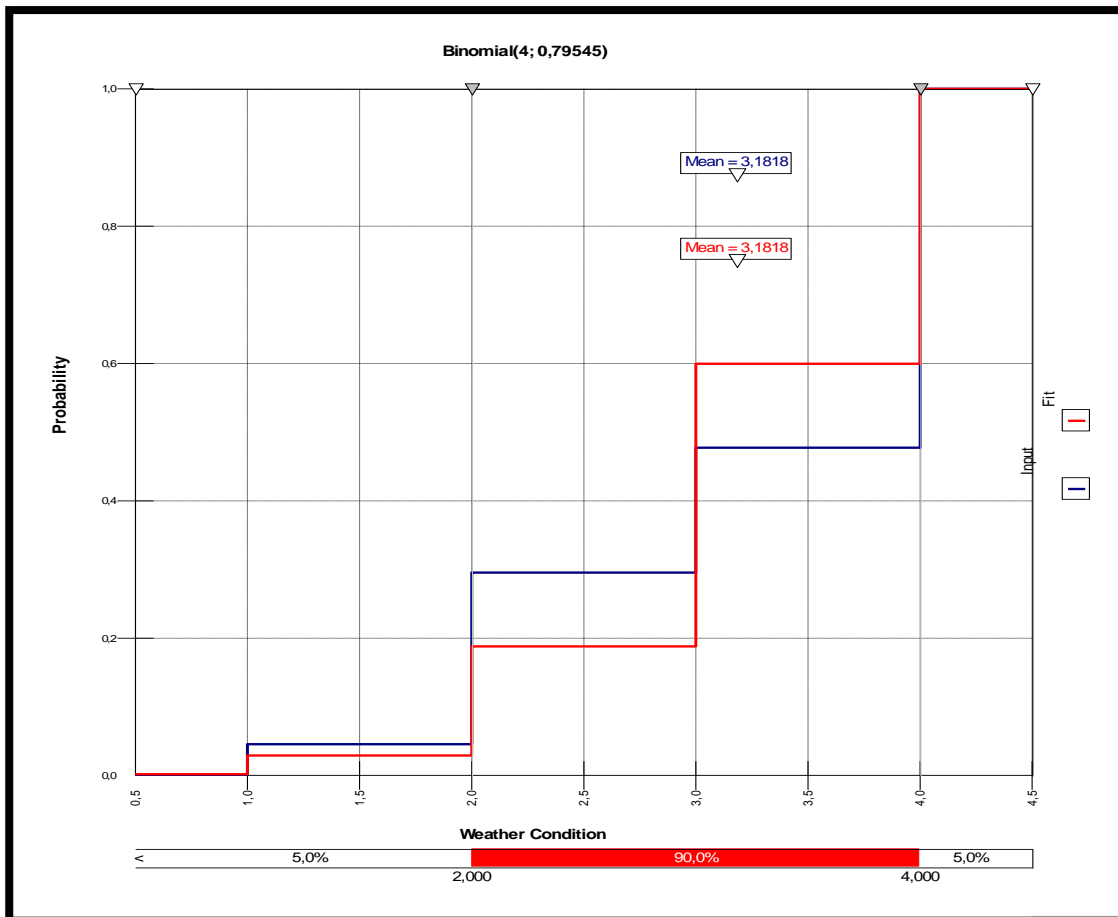


Σχήμα 4.17: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για την παράμετρο των καιρικών συνθηκών.

Οι μέσες τιμές είναι πανομοιότυπες ενώ περισσότερα στοιχεία για τα χαρακτηριστικά των 2 κατανομών περιέχονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 4.5: Χαρακτηριστικά μεγέθη των κατανομών για την παράμετρο των καιρικών συνθηκών.

N/A	Fit	Input
Function	RiskBinomial(4; 0,79545)	N/A
Shift	N/A	N/A
n	4	N/A
p	0,795454545	N/A
Minimum	0	1
Maximum	4	4
Mean	3,1818	3,1818
Median	3	4
Std. Deviation	0,80674	0,97104
Variance	0,65083	0,92149



Σχήμα 4.18: Αθροιστική συνάρτηση κατανομής για την παράμετρο των καιρικών συνθηκών.

## Διωνυμική Κατανομή

Από τις ασυνεχείς κατανομές, η πιο σπουδαία είναι η διωνυμική κατανομή γιατί αυτή περιγράφει καλύτερα τα περισσότερα φαινόμενα. Ανακλύφθηκε από τον Bernoulli το 1700. Περιγράφει τον αριθμό  $n$  συνεχόμενων επιτυχιών ανεξάρτητων μεταξύ τους σε ένα πείραμα με 2 πιθανά αποτελέσματα (yes or no experiment), η κάθε μια από τις οποίες έχει πιθανότητα  $p$  να πραγματοποιηθεί. Ένα τέτοιο πείραμα ονομάζεται πείραμα Bernoulli και για  $n=1$  η διωνυμική κατανομή εκφυλίζεται στην κατανομή Bernoulli. Η διωνυμική κατανομή είναι η βάση του δημοφιλούς διωνυμικού τεστ στατιστικής σημαντικότητας (binomial test of statistical significance). Η διωνυμική κατανομή χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση των επιτυχιών εντός δείγματος μεγέθους  $n$ , που παράγεται από ένα πληθυσμό μεγέθους  $N$  με διαδοχικές αντικαταστάσεις. Αν δε γίνονται αντικαταστάσεις, τότε τα αποτελέσματα δεν είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και σε αυτή την περίπτωση δε χρησιμοποιείται η διωνυμική αλλά η υπερ-γεωμετρική κατανομή. Πάντως όταν ισχύει  $N \gg n$ , η διωνυμική κατανομή προσεγγίζει πολύ καλά την υπεργεωμετρική.

Η συνάρτηση πιθανότητας της διωνυμικής κατανομής δίνεται από τη σχέση:

$$f(X=x) = f_{x,n} = \binom{n}{x} \cdot p^x \cdot (1-p)^{n-x}$$

όπου,  $\binom{n}{x} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$ , για  $k=0,1,2,\dots,n$

Η μέση τιμή ισούται με  $n \cdot p$  και η διακύμανση με  $n \cdot p \cdot (1-p)$ .

Εύκολα αποδεικνύεται πως  $\sum_{x=0}^n f_x = 1$ .

#### 4.2.7 Κατάσταση Φόρτωσης του Πλοίου(Cargo Status)

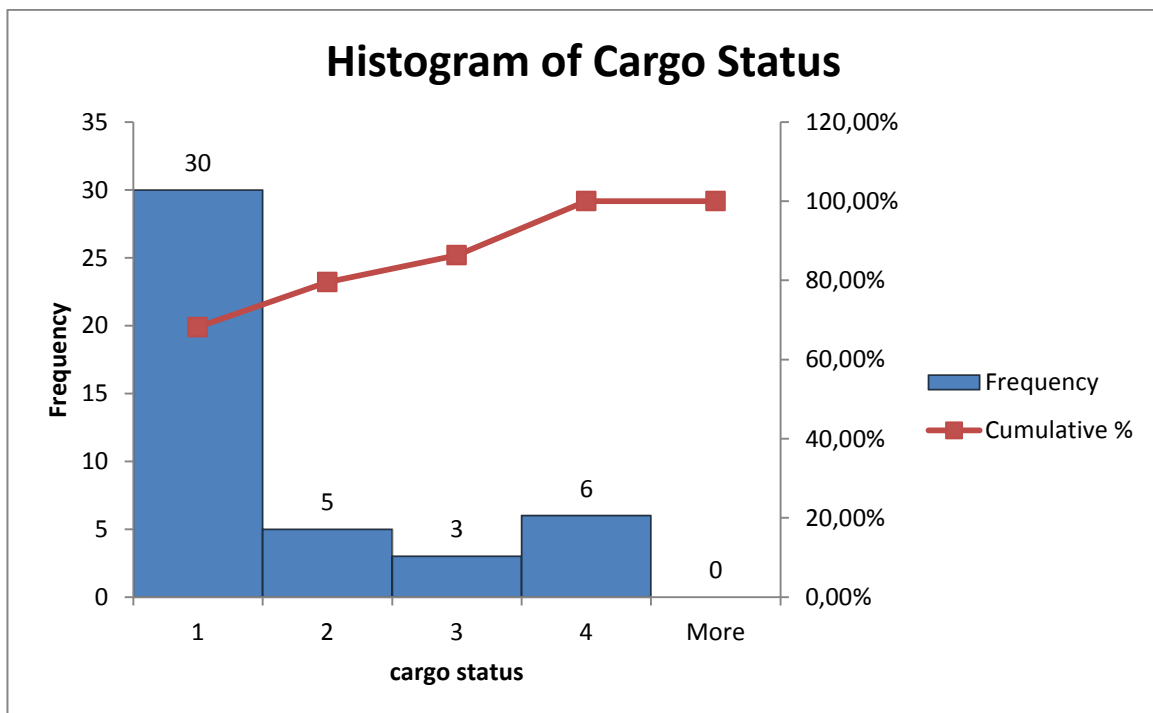
Μια ακόμη σημαντική παράμετρος που αξίζει να μελετηθεί σε σχέση με το φαινόμενο ενός ναυτικού ατυχήματος, είναι η κατάσταση φόρτωσης του πλοίου τη στιγμή του ατυχήματος. Από τις αναφορές ατυχημάτων που μελετήθηκαν στη βάση δεδομένων της Sea-Web αντλήθηκαν στοιχεία για το δείγμα πλοίων που έχει επιλεγεί και καταγράφηκαν 4 πιθανές καταστάσεις φόρτωσης.

- Πλήρης ή Μερική Φόρτωση (Loaded)
- Φόρτωση με έρμα (Ballast)
- Χωρίς Φορτίο (Empty)
- Άγνωστη Κατάσταση Φόρτωσης (Unknown)

Τόσο όσον αφορά σε αυτή την παράμετρο όσο και στην παράμετρο των καιρικών συνθηκών το πρόβλημα της ελλιπούς καταγραφής είναι αρκετά σοβαρό και αποτελεί τροχοπέδη σε προσπάθειες μελέτης και μοντελοποίησης. Ακολουθεί η κωδικοποίηση σε κλίμακα 1-4.

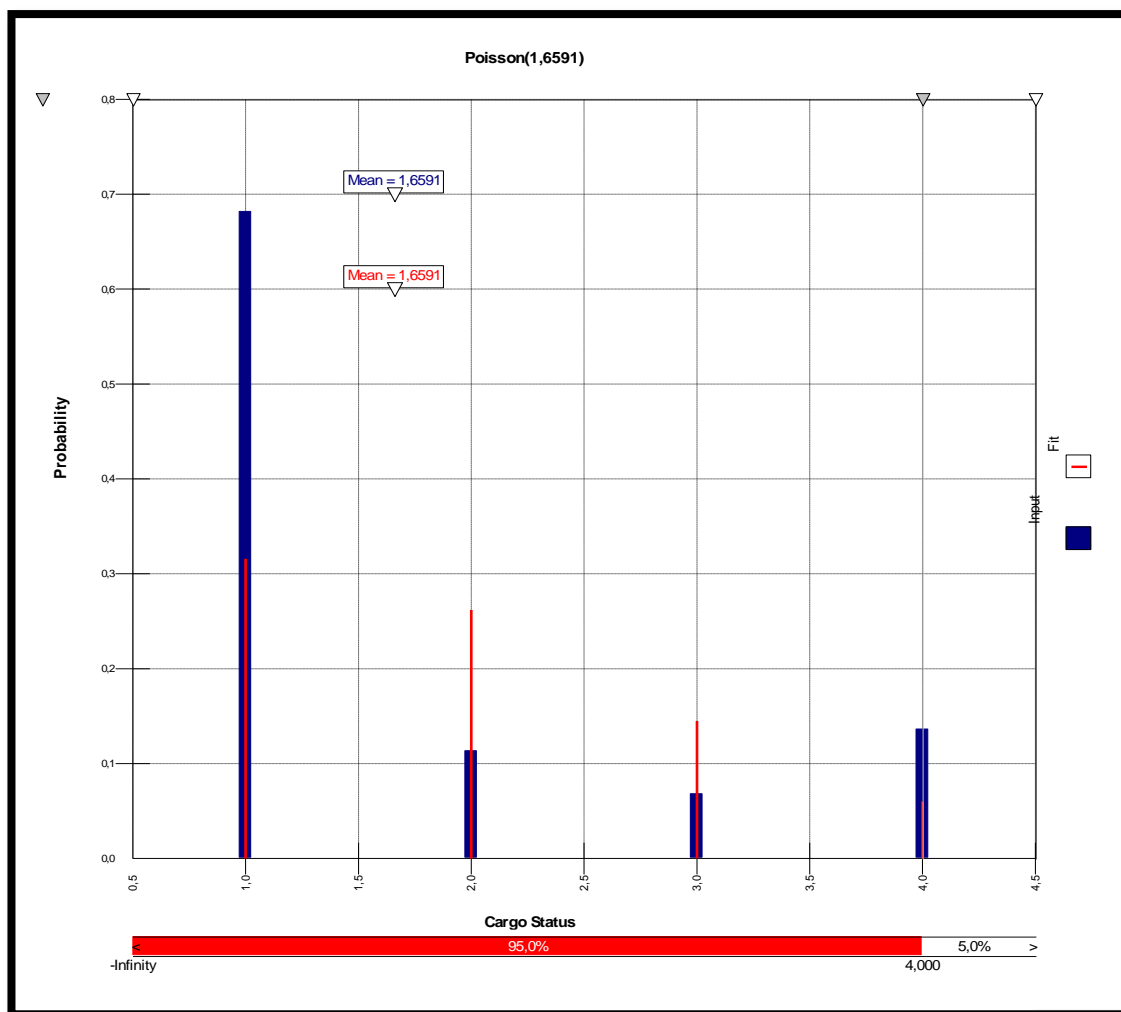
- Loaded  $\rightarrow$  1
- Ballast  $\rightarrow$  2
- Empty  $\rightarrow$  3
- Unknown  $\rightarrow$  4

Η κατανομή που περιγράφει πληρέστερα τα δεδομένα βρέθηκε ότι είναι η κατανομή **Poisson** με παράμετρο  $\lambda=1,6591$ . Στη συνέχεια, παρουσιάζονται το ιστόγραμμα και τα γραφήματα από το πρόγραμμα @Risk.



Σχήμα 4.19: Ιστόγραμμα για την παράμετρο της κατάστασης φόρτωσης.

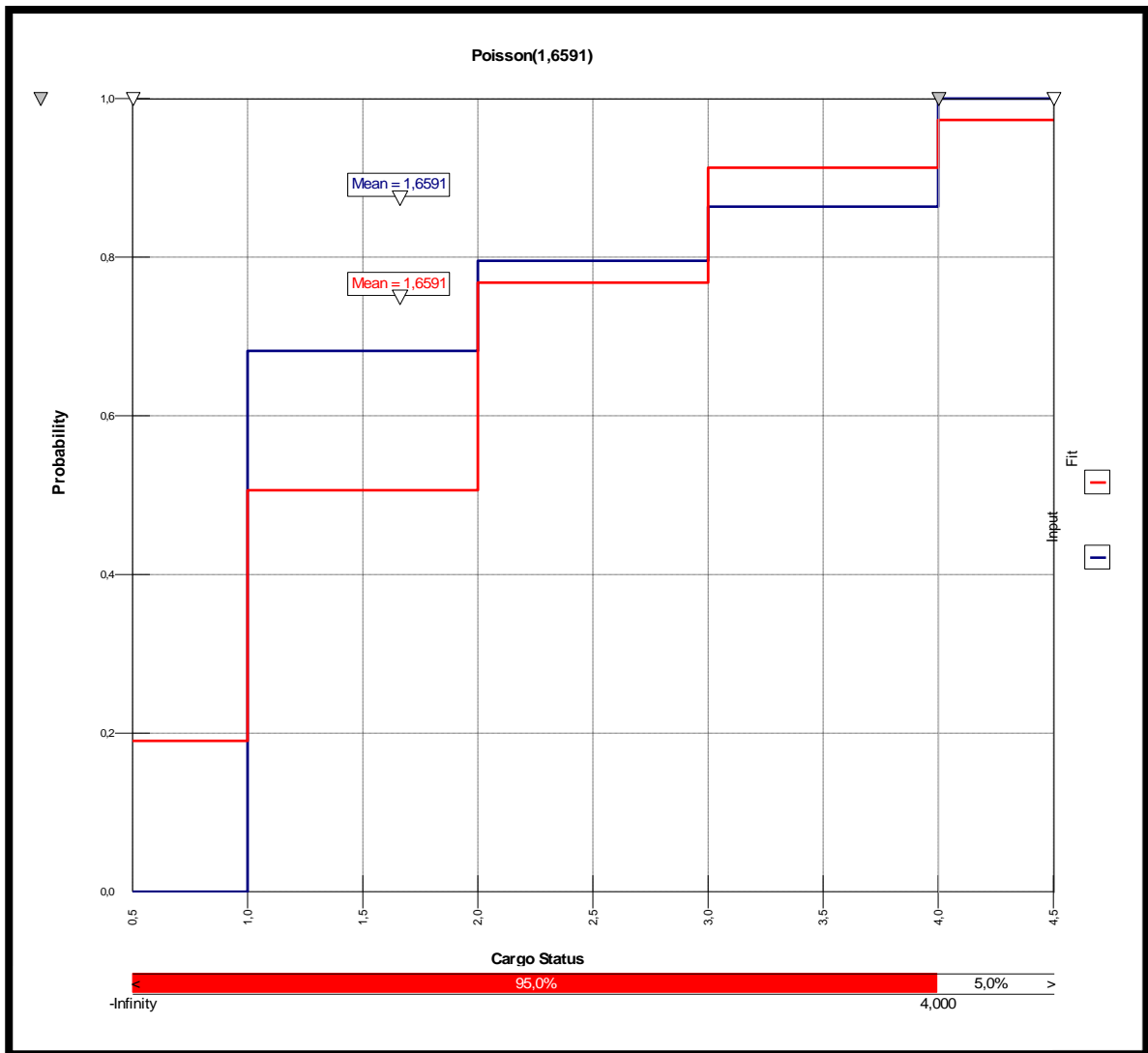




Σχήμα 4.20: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για την παράμετρο της κατάστασης φόρτωσης.

Πίνακας 4.6: Χαρακτηριστικά μεγέθη των κατανομών για την παράμετρο της κατάστασης φόρτωσης.

	Fit	Input
N/A	RiskPoisson(1,6591)	N/A
Function	N/A	N/A
Shift	1,659090909	N/A
l	0	1
Minimum	+infinity	4
Maximum	1,6591	1,6591
Mean	1	1
Median	1,2881	1,0985
Std. Deviation	1,6591	1,1792
Variance		



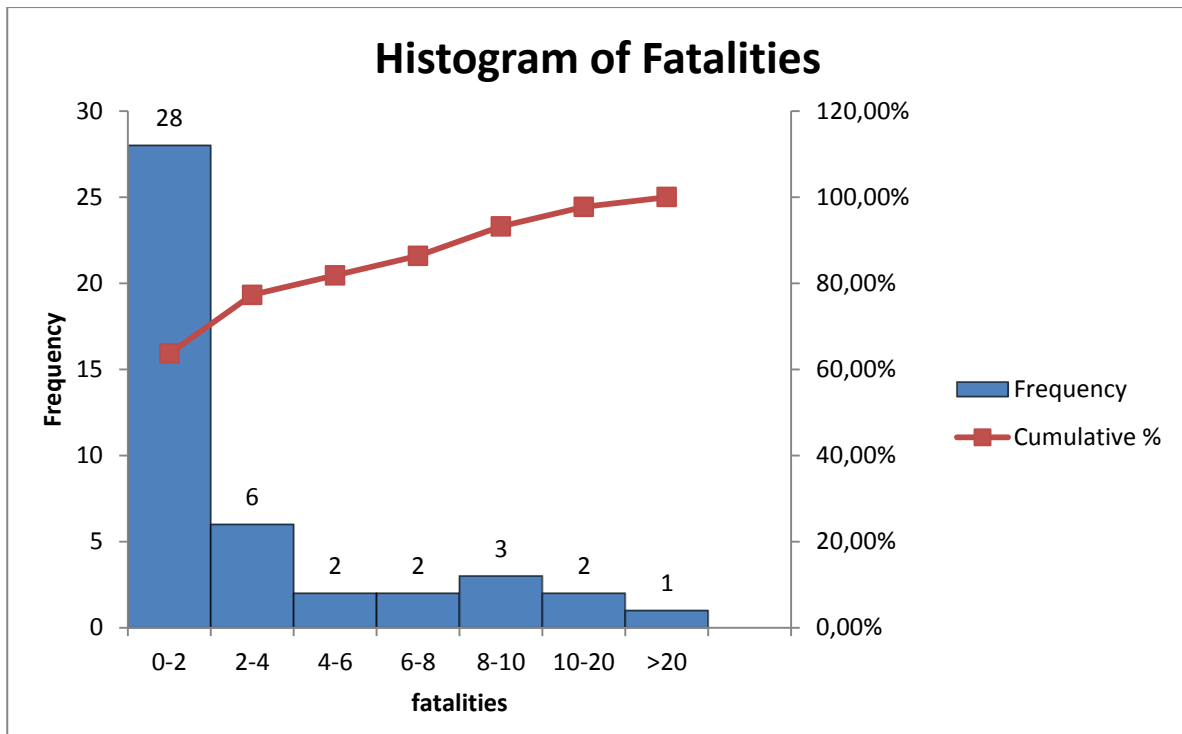
Σχήμα 4.21: Αθροιστική συνάρτηση κατανομής για την παράμετρο της κατάστασης φόρτωσης.

#### 4.2.8 Ανθρώπινες Απώλειες

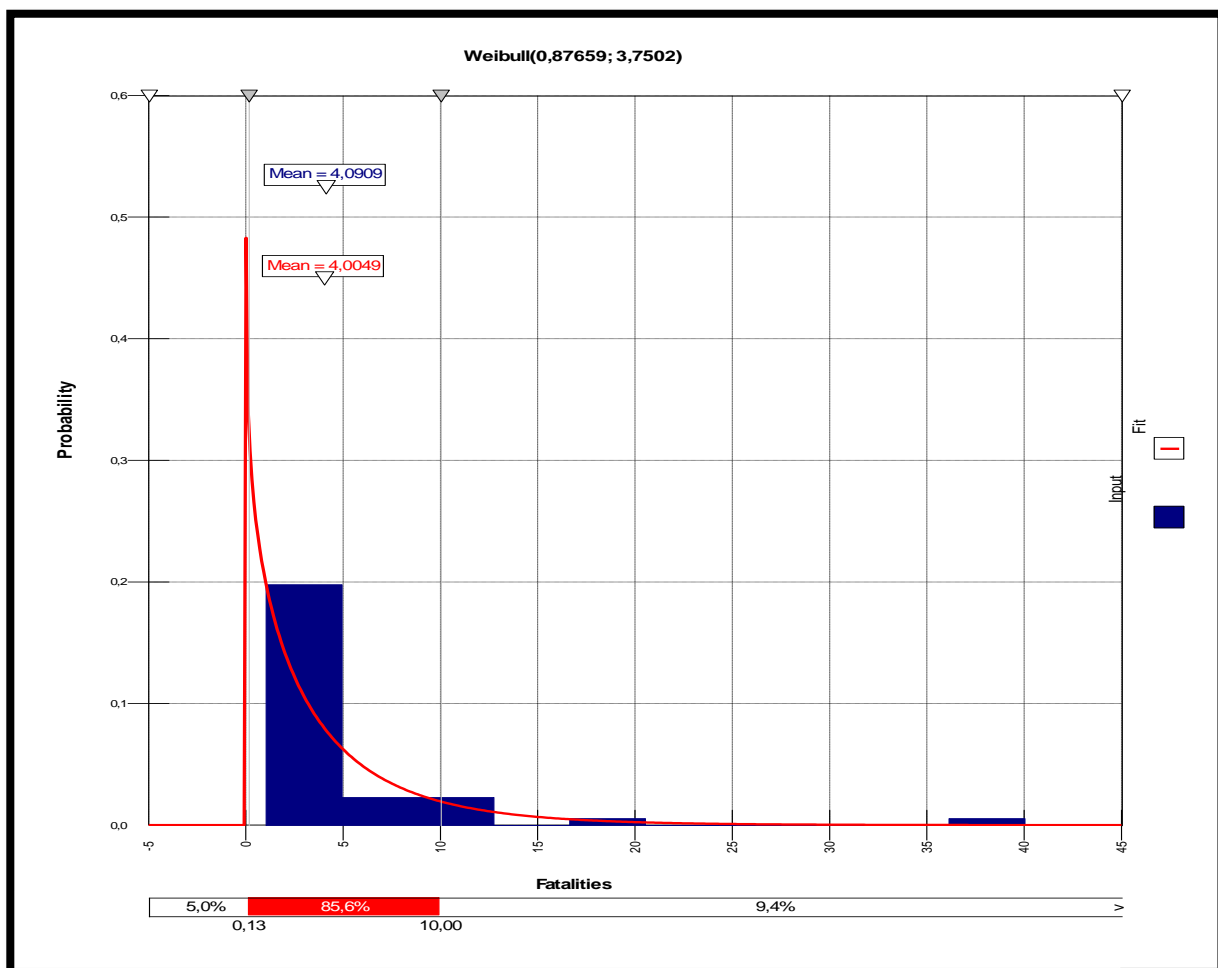
Τελευταία και σημαντικότερη παράμετρος στη μελέτη ενός ναυτικού ατυχήματος είναι οι συνέπειές του. Και επειδή στην περίπτωση των πλοίων τύπου Γ/Φ δεν έχουν καταγραφεί σημαντικές συνέπειες περιβαλλοντικού χαρακτήρα, οι συνέπειες ταυτίζονται με τις ανθρώπινες απώλειες. Στο προηγούμενο κεφάλαιο με τον όρο fatalities περιγράφηκε το άθροισμα θανόντων και αγνοουμένων. Στο παρόν κεφάλαιο, που σκοπός μας είναι η παραγωγή σεναρίων, δηλαδή καταστάσεων όπου οι παράμετροι που μελετώνται λαμβάνουν συγκεκριμένες τιμές, ως fatalities θα θεωρείται ο αριθμός των θανόντων.

Από τα δεδομένα του επιλεγθέντος δείγματος, και με χρήση του προγράμματος @Risk, η κατανομή που τα περιγράφει καλύτερα είναι η κατανομή ακραίων τιμών ή κατανομή **Weibull** με παραμέτρους  $\alpha=0,87659$  και  $\beta=3,7502$ .

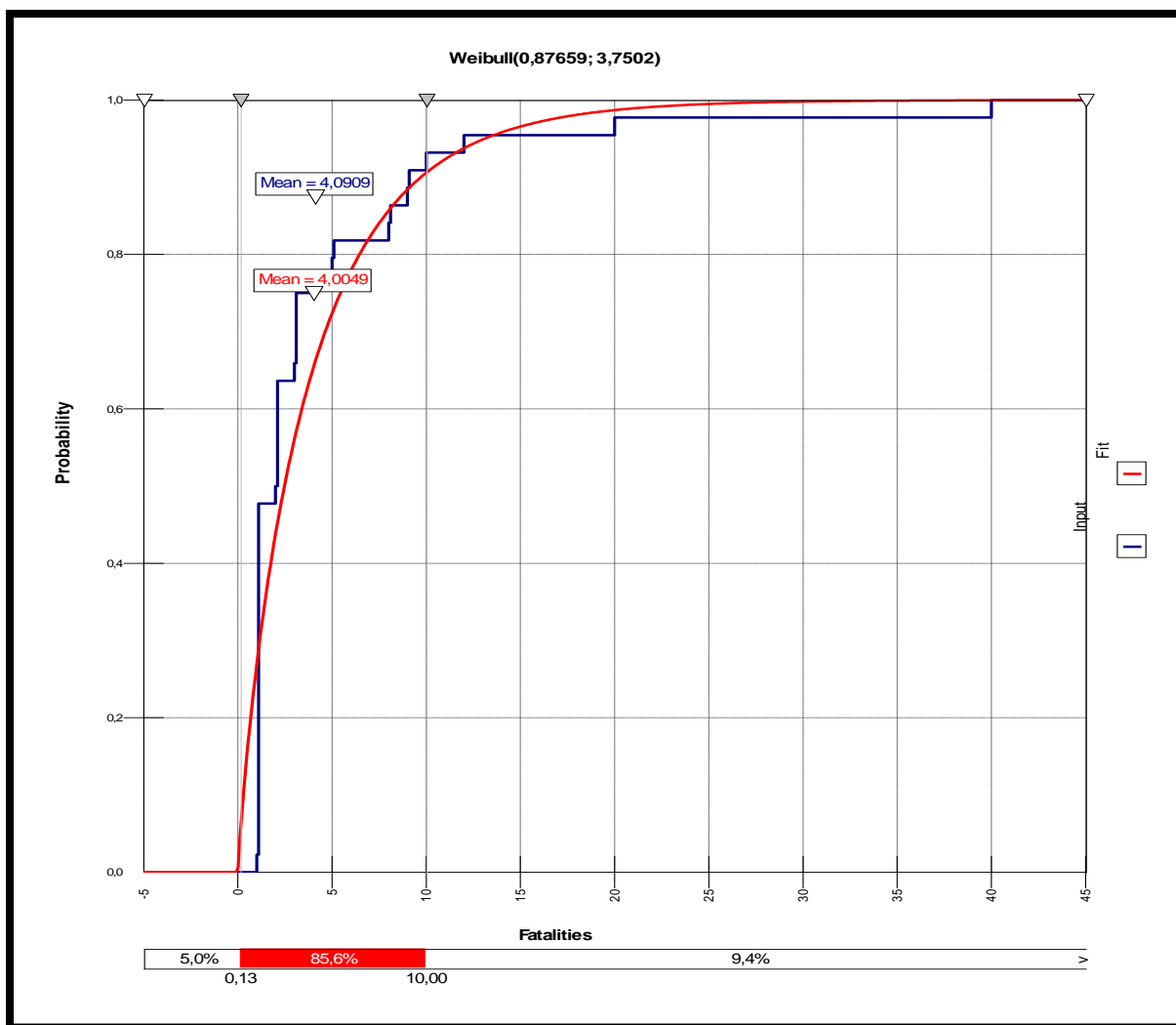
Ακολουθεί το ιστόγραμμα των παρατηρήσεων και τα γραφήματα από το @Risk.



Σχήμα 4.22: Ιστόγραμμα για την παράμετρο των συνεπειών.



Σχήμα 4.23: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για την παράμετρο των συνεπειών.



Σχήμα 4.24: Αθροιστική συνάρτηση κατανομής για την παράμετρο των συνεπειών.

Πίνακας 4.7: Χαρακτηριστικά μεγέθη των κατανομών για την παράμετρο των συνεπειών.

N/A	Fit	Input
Function	RiskWeibull(0,87659;3,7502)	N/A
Shift	0	N/A
$\alpha$	0,876587651	N/A
B	3,75015	N/A
Minimum	0	1
Maximum	+infinity	40
Mean	4,0049	4,0909
Median	2,4687	2
Std. Deviation	4,8513	6,7473
Variance	20,9888	44,492

## Κατανομή Weibull

Η κατανομή Weibull πήρε το όνομά της από τον Waloddi Weibull, που πρώτος την περιέγραψε λεπτομερώς το 1951, αν και ο πρώτος που την αναγνώρισε ήταν ο Frechet (1927) ενώ εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 1933 από τους Rosin & Rammler για την περιγραφή της κατανομής του μεγέθους των σωματιδίων.

Η συνάρτηση πυκνότητας είναι η παρακάτω:

$$f(x; \lambda; k) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \cdot \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}, & x \geq 0 \\ 0 & , x < 0 \end{cases}$$

Η συνάρτηση αθροιστικής κατανομής δίνεται από τη σχέση:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}$$

Η παράμετρος  $k$  είναι πάντα θετική και καλείται παράμετρος σχήματος, ενώ η παράμετρος  $\lambda$  καλείται παράμετρος κλίμακας και είναι επίσης θετική πάντα. Η κατανομή Weibull συνδέεται με πλήθος άλλων κατανομών. Συγκεκριμένα, παρεμβάλλεται μεταξύ της εκθετικής κατανομής ( $k=1$ ) και της κατανομής Rayleigh ( $k=2$ ).

Η μέση τιμή ισούται με  $\lambda \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$  και η διακύμανση ισούται με  $\lambda^2 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \mu^2$ .

Η κατανομή Weibull βρίσκει εφαρμογή σε πάρα πολλούς κλάδους. Για παράδειγμα,

- Στη Μετεωρολογία για την περιγραφή των κατανομών της τχαύτητας του ανέμου.
- Στην τεχνολογία των Ραντάρ για την περιγραφή της διασποράς των σημάτων που παράγονται από κάποιους τύπους αταξίας.
- Στη βιοβηχανία για την περιγραφή των χρόνων παραγωγής και παράδοσης.
- Στη θεωρία ακραίων τιμών.
- Και σε άλλους τομείς όπως στη μελέτη αξιοπιστίας, στην υδρολογία κ.α

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά όλες οι παράμετροι με τις κατανομές που επιλέχτηκαν για τη μαθηματική αναπαράστασή τους.

**Πίνακας 4.8:** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την πειλογή κατανομών των παραμέτρων.

Παράμετρος	Επιλεγμένη Κατανομή
Μέγεθος Πλοίου	ExtValue(2317.5;1615.3)
Ηλικία Πλοίου	Uniform(0.48837;23.512)
Ισχύς Πλοίου	Gamma(1.2414;1226.7)
Τύπος Ατυχήματος	Poisson(2.5909)
Καιρικές Συνθήκες	Binomial(4;0.79545)
Κατάσταση Φόρτωσης	Poisson(1.6591)
Συνέπειες	Weibull(0.87659;3.7502)

### 4.3 Επιλογή Δειγματοληπτικής Μεθόδου

Το τελευταίο βήμα για την παραγωγή των επιθυμητών σεναρίων ήταν η εισαγωγή των συναρτήσεων των κατανομών των υπό μελέτη παραμέτρων σε κατάλληλο υπολογιστικό πακέτο και η εφαρμογή της κατάλληλης προσωμοίωση του οποίου το περιβάλλον εργασίας και η εισαγωγή των παραμέτρων για την παραγωγή των σεναρίων περιγράφεται αναλυτικά στο Παράρτημα Δ.

Στο σημείο αυτό θα προσπαθήσουμε να αποδόσουμε τη φιλοσοφία που υπάρχει πίσω από μια τέτοια προσωμοίωση. Έχοντας την μαθηματική έκφραση της κατανομής της κάθε παραμέτρου, εφαρμόζεται μια δειγματοληπτική διαδικασία με βάση την οποία επιλέγονται τυχαία τιμές από κάθε παράμετρο, την ίδια όμως στιγμή, οδηγώντας σε μια τελική κατάσταση, ένα σύνολο δηλαδή τιμών η κάθε μια από τις οποίες αντιστοιχεί σε μια παράμετρο του προβλήματος, δηλαδή σε ένα σενάριο.

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι δειγματοληψίας. Οι κυριότεροι είναι οι παρακάτω:

- *Απλή Τυχαία Δειγματοληψία* ( Simple Random Sampling)

Στην περίπτωση αυτή, όλες οι πιθανές τιμές ενός δείγματος έχουν την ίδια πιθανότητα εμφάνισης. Δηλαδή, κάθε στοιχείο του δείγματος έχει την ίδια πιθανότητα εκλογής κατά τη δειγματοληπτική διαδικασία. Αντίστοιχα όλα τα ζεύγη στοιχείων από 2 παραμέτρους έχουν την ίδια πιθανότητα εκλογής και το ίδιο συμβαίνει για περισσότερες παραμέτρους. Η ιδιότητα αυτή χρήζει τη συγκεκριμένη μέθοδο ακατάλληλη για τη δική μας περίπτωση αφού έοντας βρει την κατανομή που περιγράφει την κάθε παράμετρο, στην ουσία έχουμε αποδόσει πιθανότητες εμφάνισης σε κάθε τιμή. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος αλλά και της αδυναμίας της συγκεκριμένης μεθόδου όταν ο πληθυσμός είναι μεγάλου μεγέθους, αναπτύχθηκαν άλλες μέθοδοι που αναφέρονται στη συνέχεια.

- *Συστηματική Δειγματοληψία* (Systematic Sampling)

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στη οργάνωση του πληθυσμού με κάποιο συνδυασμό και την επιλογή στοιχείων σε κανονικά διαστήματα μέσα από τη λίστα οργάνωσης. Η συστηματική δειγματοληπτική μέθοδος περιλαμβάνει την έναρξη εκλογής από ένα τυχαίο σημείο και συνεχίζει με επιλογή κάθε κ-στοιχείου από τότε και μετά, όπου κ είναι ο λόγος μέγεθος πληθυσμού/μέγεθος δείγματος. Είναι σημαντικό το σημείο έναρξης να μην είναι το πρώτο στοιχείο της λίστας αλλά να επιλέγεται τυχαία μεταξύ του πρώτου και του κ-στοιχείου της λίστας. Για όσο το αρχικό σημείο είναι αποτέλεσμα τυχαίας επιλογής, η συγκεκριμένη μέθοδος είναι ένας τύπος δειγματοληψίας πιθανότητας. Η συστηματική δειγματοληψία είναι εύκολη στη εφαρμογή αλλά είναι ιδιαίτερος εύαλωτη όταν η λίστα χαρακτηρίζεται από περιοδικότητες.

- *Στρωματοποιημένη Δειγματοληψία* (Stratified Sampling)

Όταν ο πληθυσμός διαθέτει ένα αριθμό διακριτών κατηγοριών, ο συνδυασμός, ο συνδυασμός αυτών των κατηγοριών μπορεί να οργανωθεί σε ξεχωριστά στρώματα. Κάθε στρώμα λαμβάνεται σαν ένας ανεξάρτητος υποπληθυσμός από τον οποίο μπορούν στοιχεία να επιλεγούν με τυχαίο τρόπο. Υπάρχουν αρκετά πλεονεκτήματα στη χρήση αυτής της μεθόδου.

Αρχικά, ο διαχωρισμός του πληθυσμού σε διακριτά, ανεξάρτητα στρώματα μπορεί να διευκολύνει την εξαγωγή συμπερασμάτων για συγκεκριμένες υποκατηγορίες που πιθανόν να χάνονταν μέσα σε μια πιο γενικευμένη τυχαία δειγματοληψία.

Κατά δεύτερον, η χρήση της στρωματοποιημένης δειγματοληπτικής μεθόδου μπορεί να οδηγήσει σε πιο έγκυρες στατιστικές αποτιμήσεις και εκτιμήσεις. Ακόμη και όμως όταν δεν οδηγεί σε αυξημένη στατιστική αποτελεσματικότητα, δεν είναι λιγότερο αποτελεσματική από

τη μέθοδο τυχαίας δειγματοληψίας, δεδομένου ότι κάθε στρώμα είναι ανάλογο του μεγέθους που έχει η ομάδα που αντιπροσωπεύει, μέσα στον πληθυσμό.

Τέλος, εφόσον κάθε στρώμα λαμβάνεται ως ανεξάρτητος πληθυσμός διαφορετικές μέθοδοι δειγματοληψίας μπορούν να εφαρμοστούν σε διαφορετικά στρώματα, δίνοντας τη δυνατότητα στους ερευνητές να εξετάσουν ποια είναι αυτή που ταιριάζει καλύτερα σε κάθε υποκατηγορία μέσα στον πληθυσμό.

Ωστόσο, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα στη χρήση της στρωματοποιημένης δειγματοληψίας. Η αναγνώριση των στρωμάτων και κατά συνέπεια η εφαρμογή της μεθόδου μπορεί να αυξήσει σημαντικά το κόστος αλλά και την πολυπλοκότητα της επιλογής του δείγματος. Ακόμη, όταν εξετάζονται πολλαπλά κριτήρια, η στρωματοποίηση των μεταβλητών μπορεί να λειτουργεί με κάποιες αλλά όχι με όλες, και οδηγεί τελικά στη μείωση της χρησιμότητας της μεθόδου. Τέλος, σε ορισμένες περιπτώσεις το μέγεθος του δείγματος που απαιτείται είναι αρκετά μεγαλύτερο σε σύγκριση με άλλες μεθόδους.

Άλλες μέθοδοι δειγματοληψίας είναι επιγραμματικά οι παρακάτω:

- Δειγματοληψία ανά Συγκροτήματα (Cluster Sampling)
- Δειγματοληψία Ποσόστωσης (Quota Sampling)
- Ευκαιριακή Δειγματοληψία (Convenience or Opportunity Sampling)
- Δειγματοληψία με Πίνακες (Panel Sampling)

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας η μέθοδος που επιλέχτηκε ανήκει στην κατηγορία των μεθόδων Στρωματοποιημένης Δειγματοληψίας και ονομάζεται **Latin Hypercube Sampling**. Στη συνέχεια, αρχικά γίνεται μια ιστορική αναδρομή της εφαρμογής της συγκεκριμένης μεθόδου σε διάφορους τομείς και ακολουθεί μια εισαγωγή στο μαθηματικό υπόβαθρο αυτής και των προσωμοιώσεων στις οποίες χρησιμοποιείται.

#### **4.4 Latin Hypercube Sampling**

Η εισαγωγή της συγκεκριμένης μεθόδου σχετίζεται με την ανάλυση αβεβαιότητας γύρω από την ασφάλεια λειτουργίας πυρηνικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Συγκεκριμένα, το 1975 δημοσιεύτηκε από το την Ρυθμιστική Επιτροπή Πυρηνικής Ενέργειας των Η.Π.Α μια μελέτη (The Reactor Safety Study), η οποία αναγνωρίστηκε ευρέως για τις προτάσεις της στον τομέα της Πιθανοθεωρητικής Αξιολόγησης Ρίσκου (Probabilistic Risk Assessment). Ωστόσο, δέχτηκε κριτική για την ανεπαρκή παρουσίαση της αβεβαιότητας στα αποτελέσματα. Αυτό οδήγησε σε ένα ενεργό ενδιαφέρον της Επιτροπής για τη διάδοση της αβεβαιότητας μέσα σε μοντέλα πολύπλοκων συστημάτων.

Τότε ήταν που η ιδέα της Latin Hypercube Sampling συλλήφθηκε από το W.J. Conover και παρουσιάστηκε επίσημα σε συνεργασία με τους συναδέλφους του στο Επιστημονικό Εργαστήριο του Los Alamos. Οι πρώτες εφαρμογές της μεθόδου είχαν να κάνουν με την ανάλυση απώλειας σε ατυχήματα ψύξης στα πλαίσια της ασφάλειας πυρηνικών αντιδραστήρων. Αργότερα, εφαρμόστηκε σε προγράμματα για την αποβολή ραδιοενεργών αποβλήτων. Επιπρόσθετα, η Ρυθμιστική Επιτροπή αποφάσισε να αναπτύξει νέες μεθόδους μελέτης ασφάλειας στους αντιδραστήρες με επίκεντρο προσοχής τη Latin Hypercube Sampling, γεγονός που οδήγησε σε δημοσίευση νέων μελετών με εξέχουσα την αποκαλούμενη NUREG-1150, που ήταν η μεγαλύτερη ολοκληρωμένη ανάλυση για τη την αξιολόγηση και διάδοση της αβεβαιότητας σε οποιοδήποτε σύστημα τη δεκαετία του 1980.

Μετά τις αναλύσεις της NUREG-1150 ακολούθησε ευρεία εφαρμογή της μεθόδου για την εκτίμηση τόσο του ρίσκου όσο και της απόδοσης ,σε πυρηνικούς σταθμούς αλλά και σε άλλους τομείς.Σήμερα,η μέθοδος απαντάται τόσο σε μελέτες μεγάλης κλιμακας όσο και μικρότερης.

Ακολουθεί μια προσπάθεια παρουσίασης της φιλοσοφίας της μεθόδου Latin Hypercube Sampling.

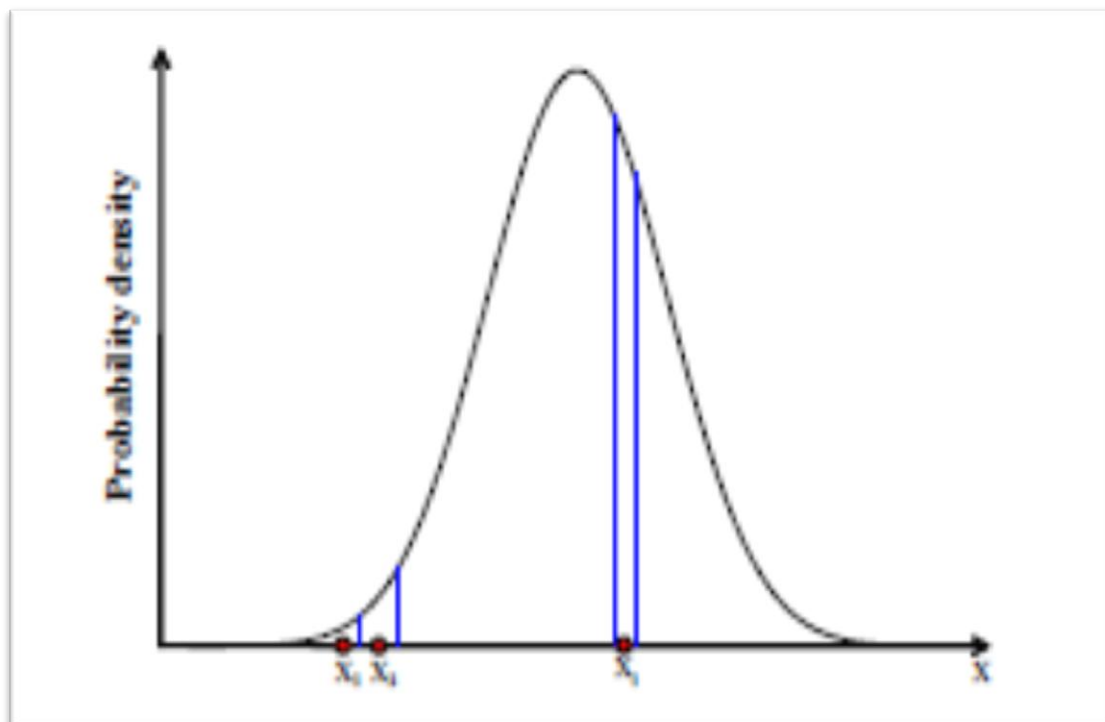
Η Latin Hypercube είναι στην ουσία ένα τύπος στρωματοποιημένης Monte Carlo δειγματοληπτικής μεθόδου.Όλες οι περιοχές του χώρου του δείγματος παριστάνονται από τις τιμές που εισάγονται ως δεδομένα.Για να παραχθεί ένα δείγμα μεγέθους N από K μεταβλητές,  $\mathbf{x}=\{x_1,x_2,\dots,x_k\}$  με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας  $f(\mathbf{x})$  ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία.Το εύρος της κάθε μεταβλητής διαχωρίζεται σε N μη επικαλυπτόμενα διαστήματα ίσης πιθανότητας  $1/N$  (σχήμα 4.25).Από κάθε διάστημα επιλέγεται με τυχαίο τρόπο μια τιμή σε σχέση με την πυκνοτητα πιθανότητας του διαστήματος.Οι N τιμές της μεταβλητής  $x_1$  ταιριάζονται με τυχαίο τρόπο με τις τιμές της μεταβλητής  $x_2$ .Τα ζεύγη τιμών αυτά με τη σειρά τους ταιριάζονται με τυχαίο τρόπο με τις τιμές της μεταβλητής  $x_3$  και δημιουργούν τριάδες τιμών.Αυτό συνεχίζεται μέχρι να παραχθούν N δείγματα n μεταβλητών το καθένα.Γενικά,το μέγιστο πλήθος συνδυασμών που επιτυγχάνεται μέσω της Latin Hypercube Sampling για N μεταβλητές και M διαστήματα διαχωρισμού δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\left(\prod_{n=0}^{M-1} (M - n)\right)^{N-1} = (M!)^{N-1}$$

Για παράδειγμα,για N=4 και M=2 παράγονται 24 συνδυασμοί,ενώ για N=4 και M=3 παράγονται 576 συνδυασμοί.

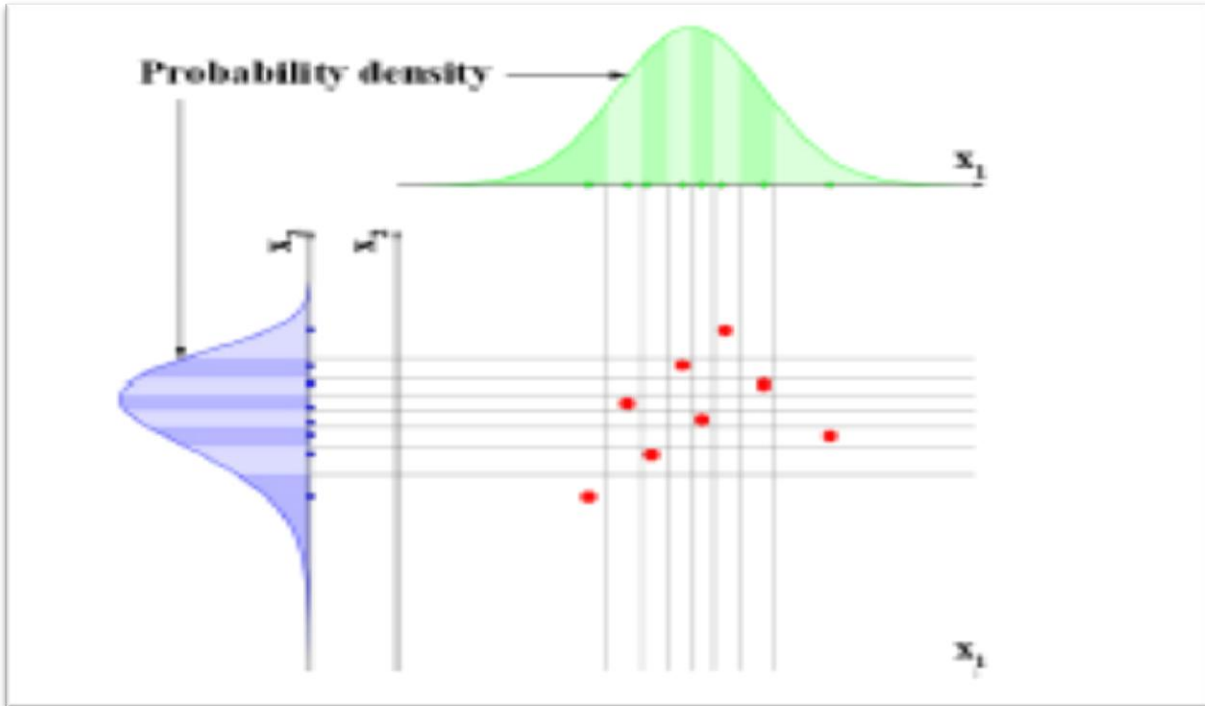
Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι δεν απαιτούνται περισσότερα δείγματα για περισσότερες μεταβλητές.Η πιθανότητα P για κάθε ένα από τους M πιθανούς συνδυασμούς που παράγονται από τη Latin Hypercube sampling για N αριθμό μεταβλητών είναι:

$$P = \left(\frac{1}{M}\right)^N$$



Σχήμα 4.25: Διαχωρισμός της κατανοής μιας μεταβλητής σε διαστήματα ίσης πιθανότητας.





Σχήμα 4.26: Απεικόνιση της τεχνικής της Latin Hypercube sampling για 2 μεταβλητές και 8 διαστήματα.

Στη δικιά μας περίπτωση έχουμε 7 μεταβλητές-παραμέτρους. Επειδή στο υπολογιστικό πακέτο που επιλέχθηκε δεν υπάρχει δυνατότητα επιλογής του αριθμού των διαχωριστικών διαστημάτων αλλά μόνο του μεγέθους των τελικών συνδυασμών επιλέχθηκε να παραχθούν 1000 συνδυασμοί.

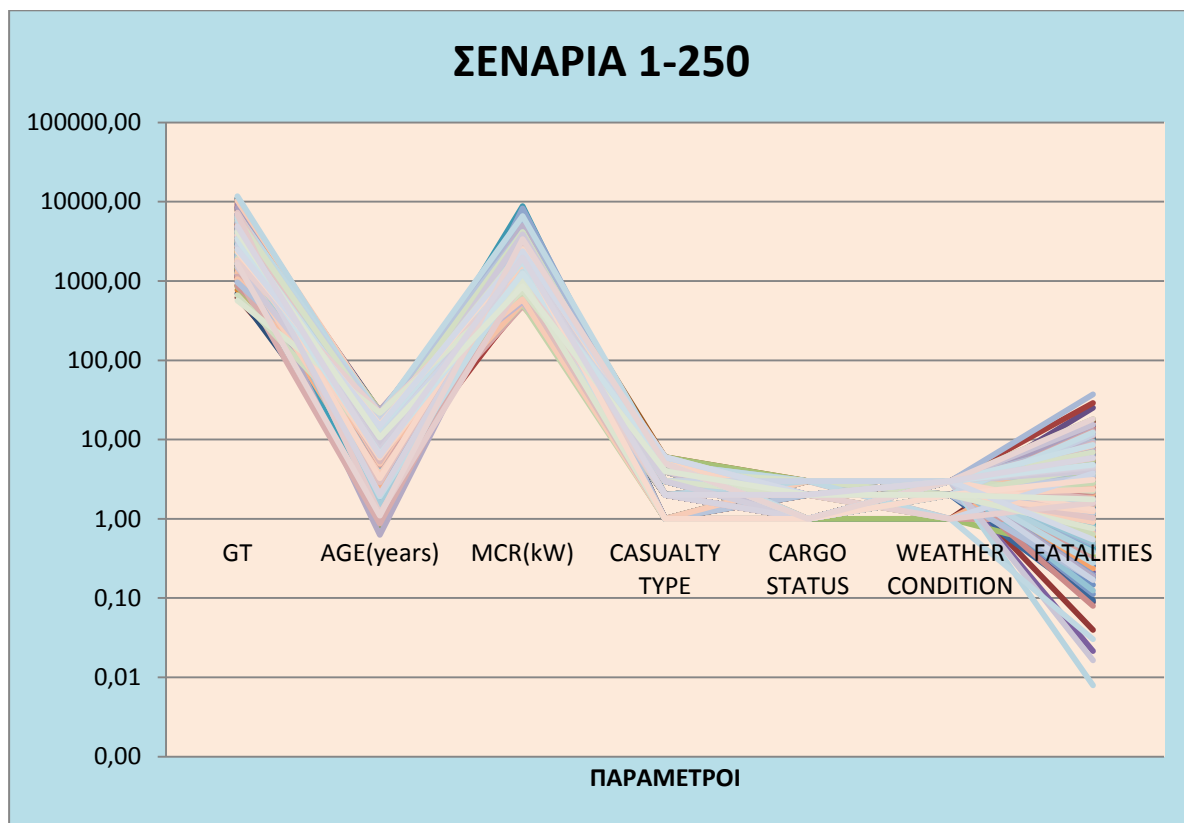
Ένα σημαντικό στοιχείο που πρέπει να αναφερθεί είναι πως αν πραγματοποιηθεί εκ νέου μια προσομοίωση με τις ίδιες μεταβλητές και με τον ίδιο αριθμό ισοπίθανων διαστημάτων το αποτέλεσμα θα είναι διαφορετικό. Με άλλα λόγια, κάθε προσομοίωση είναι μοναδική. Αυτό εξηγείται από το γεγονός πως κάθε φορά επιλέγεται διαφορετική τιμή από κάθε ισοπίθανο διάστημα της κάθε μεταβλητής. Επομένως, το σύνολο των συνδυασμών που προκύπτουν είναι κατά πολύ διαφορετικό σε σχέση με τα προηγούμενα ή το επόμενα.

Στην εισαγωγή των παραμέτρων στο υπολογιστικό πακέτο ήταν αναγκαίο να οριστούν κάποια στοιχεία:

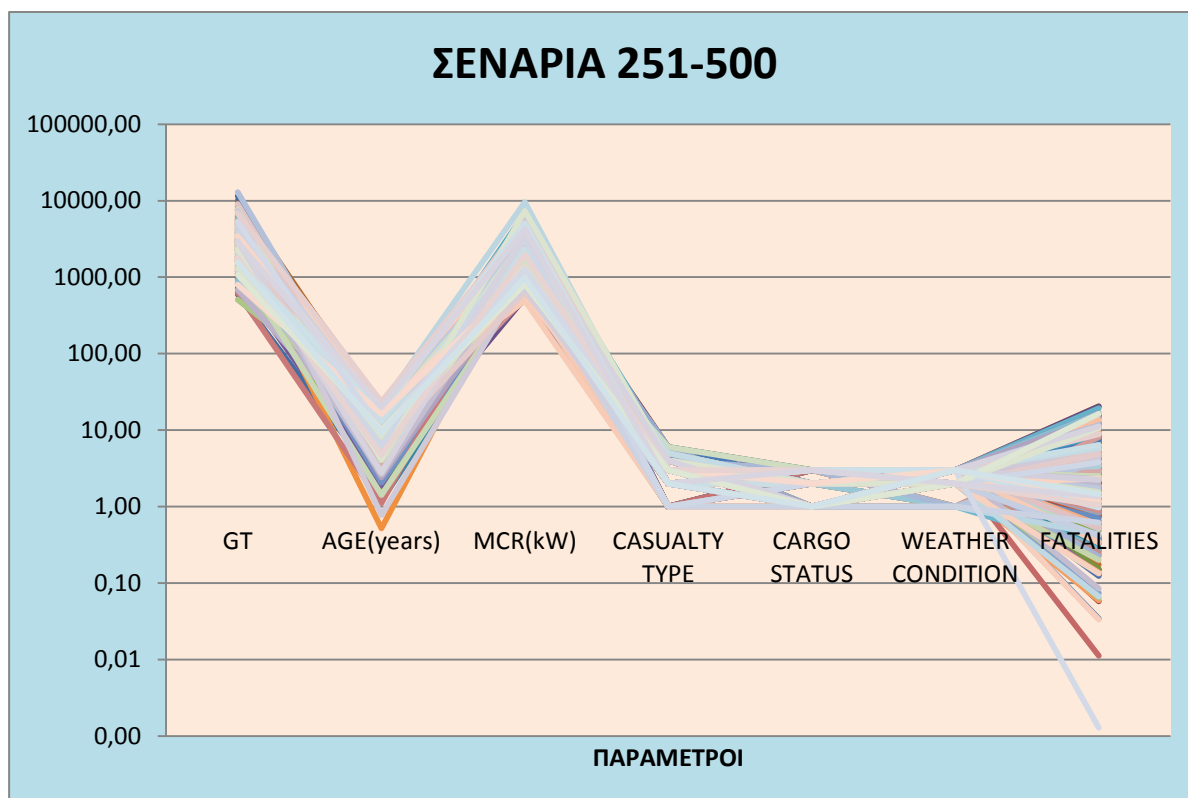
- Για την παράμετρο μέγεθος ορίστηκε ότι πρέπει  $GT > 499$ , διότι είναι μια υπόθεση που έγινε από την αρχή της εργασίας για το λόγο πως η ανανεωμένη SOLAS έχει εφαρμογή για πλοία με  $GT > 499$ .
- Για την παράμετρο του τύπου του ατυχήματος οι τιμές είναι διακριτές και ακολουθούν την κλίμακα 1-6 όπως έχει οριστεί νωρίτερα.
- Για την παράμετρο των καιρικών συνθηκών οι τιμές είναι διακριτές και ακολουθούν την κλίμακα 1-3, όπως ορίστηκε πρωτύτερα με τη εξαίρεση ότι αποκλείονται οι τιμές Unknown.
- Για την παράμετρο της κατάστασης φόρτωσης οι τιμές είναι διακριτές και ακολουθούν την κλίμακα 1-3, όπως ορίστηκε πρωτύτερα με τη εξαίρεση ότι αποκλείονται οι τιμές Unknown.
- Για την παράμετρο των απώλειων οι τιμές είναι θετικοί αριθμοί ή μηδέν.

Στη συνέχεια ακολουθεί μια οπτική απεικόνιση των σεναρίων που προέκυψαν. Τα πλήρη αποτελέσματα με τις τιμές για όλες τις παραμέτρους παρουσιάζονται σε πινακοποιημένη μορφή στο Παράρτημα Ε.

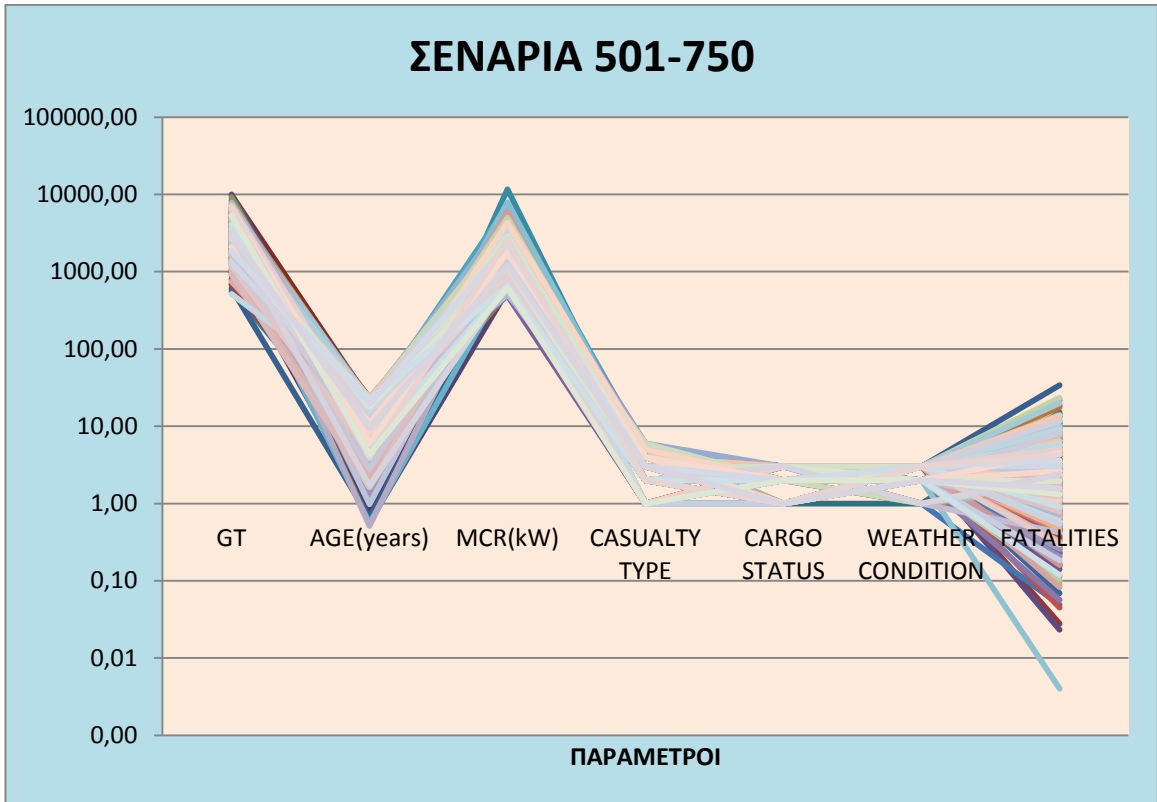
### 4.5 Παρουσίαση Σεναρίων



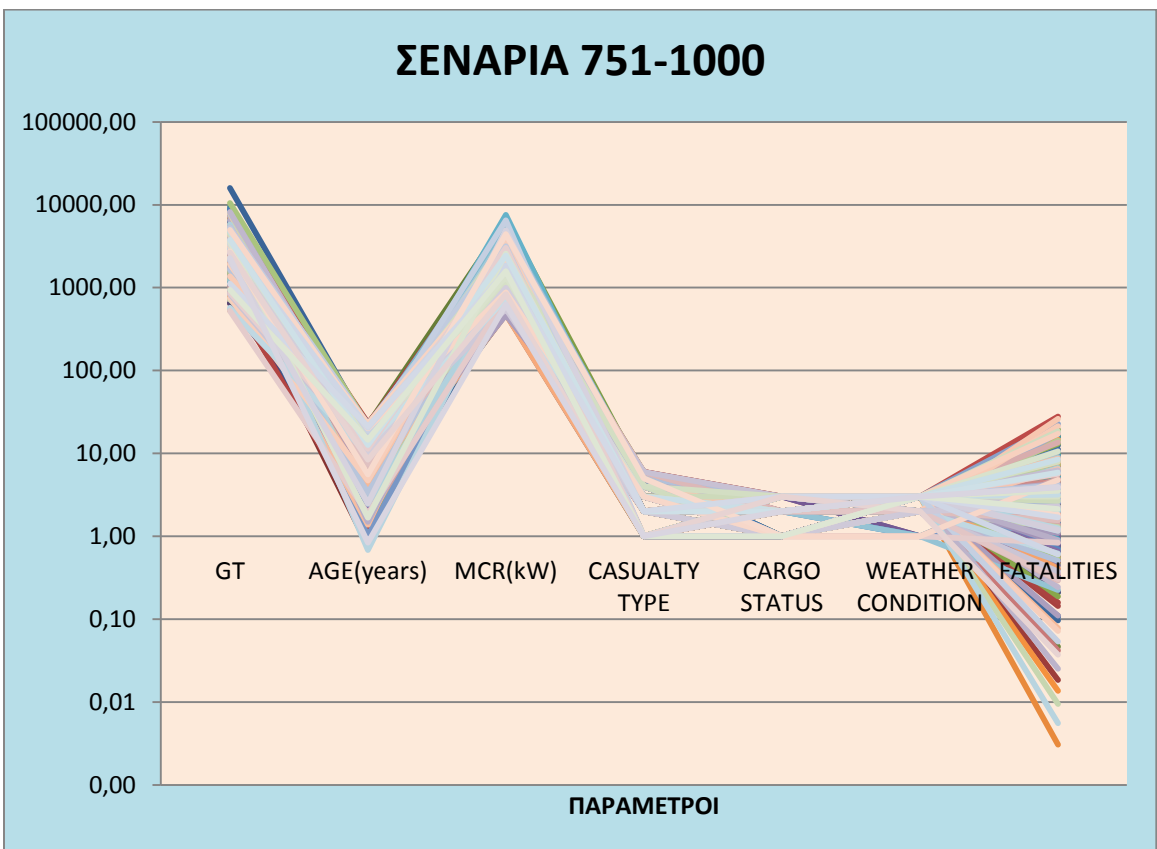
Σχήμα 4.27(α): Απεικόνιση Σεναρίων 1-250.



Σχήμα 4.27(β): Απεικόνιση Σεναρίων 251-500.



Σχήμα 4.27(γ): Απεικόνιση Σεναρίων 501-750.



Σχήμα 4.27(δ): Απεικόνιση Σεναρίων 501-750.

Στα σχήματα 4.27(α-δ) απεικονίζονται τα σενάρια που προέκυψαν από την προσωμοίωση χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Crystal Ball. Ο άξονας y είναι σε λογαριθμική κλίμακα. Στον άξονα x βρίσκονται οι 7 διαφορετικές μεταβλητές που έχουν επιλεγεί. Μια σύνοψη των αποτελεσμάτων των σεναρίων δίνεται με τον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 4.9:** Στατιστική σύνοψη των αποτελεσμάτων των σεναρίων.

Statistics	AGE	CARGO STATUS	CASUALTY TYPE	FATALITIES	GT	MCR	WEATHER CONDITION
<b>Trials</b>	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
<b>Mean</b>	12,00	1,76	2,72	4,01	3.402,59	1.991,04	2,64
<b>Median</b>	11,99	2,00	3,00	2,47	3.018,00	1.604,36	3,00
<b>Standard Deviation</b>	6,65	0,76	1,36	4,58	2.000,83	1.376,23	0,57
<b>Variance</b>	44,21	0,58	1,84	20,99	4.003.320,55	1.894.017,79	0,32
<b>Coeff. of Variability</b>	0,5541	0,4325	0,4993	1,14	0,5880	0,6912	0,2147
<b>Minimum</b>	0,51	1,00	1,00	0,00	508,42	467,48	1,00
<b>Maximum</b>	23,51	3,00	6,00	37,27	15.960,79	11.613,48	3,00
<b>Range Width</b>	23,00	2,00	5,00	37,27	15.452,37	11.145,99	2,00
<b>Mean Std. Error</b>	0,21	0,02	0,04	0,14	63,27	43,52	0,02

**Πίνακας 4.10:** Εκατοστημόρια επί των παραμέτρων των σεναρίων.

Percentiles	AGE	CARGO STATUS	CASUALTY TYPE	FATALITIES	GT	MCR	WEATHER CONDITION
0%	0,51	1,00	1,00	0,00	508,42	467,48	1,00
10%	2,78	1,00	1,00	0,28	1.232,34	695,08	2,00
20%	5,08	1,00	1,00	0,67	1.723,34	895,48	2,00
30%	7,39	1,00	2,00	1,15	2.157,62	1.107,24	2,00
40%	9,68	1,00	2,00	1,74	2.579,50	1.339,45	3,00
50%	11,98	2,00	3,00	2,46	3.014,50	1.602,69	3,00
60%	14,30	2,00	3,00	3,39	3.497,37	1.918,26	3,00
70%	16,59	2,00	3,00	4,63	4.067,51	2.318,30	3,00
80%	18,90	2,00	4,00	6,44	4.820,41	2.869,70	3,00
90%	21,19	3,00	5,00	9,68	6.016,89	3.781,33	3,00
100%	23,51	3,00	6,00	37,27	15.960,79	11.613,48	3,00

Υπενθυμίζουμε ότι η παράμετρος έχει οριστεί ως συνεχή για αυτό και λαμβάνει δεκαδικές τιμές. Εδώ θα μπορούσε να οριστεί για την καλύτερη ερμηνεία του αποτελέσματος ο παρακάτω συμβολισμός:

0.1 → ένας βαριά τραυματίας.

0.01 → ένας ελαφριά τραυματίας.

Κατά συνέπεια όταν λέμε ότι οι συνέπειες ενός σεναρίου είναι 4,23 εννοούμε πως το ατύχημα είχε ως συνέπεια 4 νεκρούς, 2 βαριά τραυματίες και 3 ελαφριά τραυματίες.

Από τον πίνακα 4.10 συμπεραίνουμε πως το 60% των σεναρίων αφορά ατυχήματα με καιρικές συνθήκες κατηγορίας 3, δηλαδή Hurricane. Ακόμη, το 90% των ατυχημάτων έχει ως συνέπεια κάτω από 10 fatalities.

Πέρα όμως από τα στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος των σεναρίων, αυτό που είναι πιο ενδιαφέρον είναι η επεξεργασία αυτών ώστε να ζξεταστούν αυτά που είναι τα πιο επικίνδυνα, δηλαδή αυτά που έχουν τις μεγαλύτερες συνέπειες. Αυτό θα αποτελέσει το αντικείμενο του επόμενου κεφαλαίου της εργασίας.

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> :ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ

Το προηγούμενο κεφάλαιο ολοκληρώθηκε με την παραγωγή σεναρίων, τα οποία και παρουσιάστηκαν γραφικά. Για να γίνει όμως μια κριτική επί των αποτελεσμάτων απαιτείται να συγκεντρωθούν κατά τέτοιο τρόπο που να την επιτρέπει. Αυτός ακριβώς είναι ο στόχος αυτού του κεφαλαίου.

Τα σενάρια οργανώνονται κατά συγκεκριμένο και με τη βοήθεια του προγράμματος **See5 (trial version)** παράγονται κλάσεις, κατηγορίες δηλαδή που μας επιτρέπουν να εξετάσουμε πιο προσεκτικά τα σενάρια που διαθέτουμε.

Αρχικά, θα γίνει αναφορά στη θεωρία που βρίσκεται πίσω από το πρόγραμμα See5 και στη συνέχεια θα παρουσιαστεί ο τρόπος εισαγωγής των δεδομένων σε αυτό, τα αποτελέσματα που εξάγονται από αυτό και αξιολόγηση αυτών.

### 5.1 Ο αλγόριθμος του προγράμματος See5

Είναι πιθανόν πως από όλα τα συστήματα εκμάθησης μηχανής, αυτά που βασίζονται σε δέντρα αποφάσεων είναι τα πιο κατανοητά από όλα. Επιπλέον, η κατάσταση και η διακλάδωση ενός δέντρου αποφάσεων είναι η πιο κατάλληλη για προβλήματα κατάταξης. Η πρόβλεψη των παραμέτρων που διαδραματίζουν το σημαντικότερο ρόλο σε ένα ναυτικό ατύχημα είναι ένα πρόβλημα κατάταξης, αφού γίνεται προσπάθεια να καταταγούν ως σημαντικοί ή όχι.

Η αυτόματη κατασκευή δέντρων αποφάσεων ξεκίνησε με μελέτες που αναπτύχθηκαν στον τομέα των Κοινωνικών Επιστημών από τους Morgan & Sonquist (1963) και τους Morgan & Messnger (1973). Στη Στατιστική, η πιο σημαντική συνεισφορά στην παραγωγή δέντρων αποφάσεων είναι ο αλγόριθμος CART (Classification and Regression Trees), ο οποίος προτάθηκε το 1984 από το Breiman. Περίπου την ίδια περίοδο, η επαγωγή δέντρων αποφάσεων ξεκίνησε να χρησιμοποιείται και σε άλλους τομείς όπως στη Μηχανική και στον τομέα Εκμάθησης Μηχανών (Machine Learning) από τον Quinlan το 1997.

Οι επιτυχείς κλάδοι ενός δέντρου αποφάσεων κατορθώνουν μια σειρά από εξαντλητικά και αποκλειστικά χωρίσματα ανάμεσα στο σύνολο των αντικειμένων που ο μελετητής προσπαθεί να κατατάξει. Η κυριότερη διαφορά σε σχέση με εναλλακτικούς αλγορίθμους είναι το κριτήριο που ακολουθεί για την εκτέλεση αυτών των χωρισμάτων. Το κριτήριο αυτό βασίζεται στην Θεωρία Πληροφοριών (Information Theory) και γίνονται διαρκώς προσπάθειες για τη βελτίωση του.

Η βασική ιδέα, που είναι κοινή για τους περισσότερους αλγορίθμους της κατηγορίας, είναι να επιλέγεται αυτή η μεταβλητή που παρέχει τις περισσότερες πληροφορίες για να αναγνωριστεί το κατάλληλο χωρίσμα που πρέπει να γίνει σε κάθε κλάδο ώστε να γίνει η τελική κατάταξη του συνόλου εκπαίδευσης (training set).

Η πληροφορία που παρέχει το μήνυμα ή την ικανότητα μιας τυχαίας μεταβλητής  $x$  είναι αντιστρόφως ανάλογη με την πιθανότητα της. Αυτή η ποσότητα συνήθως ορίζεται σε bits και προκύπτει από τη συνάρτηση:

$$\log_2\left(\frac{1}{p_x}\right)$$

Ο μέσος όρος αυτής της συνάρτησης για όλες τις πιθανές τιμές της τυχαίας μεταβλητής  $x$  καλείται εντροπία (entropy) της μεταβλητής  $x$  και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$H(x) = \sum_x p(x) \cdot \log_2 \frac{1}{p(x)}$$

Η εντροπία είναι ένα μέτρο της τυχαιότητας ή αβεβαιότητας γύρω από τη μεταβλητή  $x$ . Μπορεί να γίνει όμως και ένα μέτρο της μέσης πληροφορίας που παρέχεται από τη γνώση της μεταβλητής  $x$ .

Με τον ίδιο τρόπο μπορεί να οριστεί η κοινή εντροπία (joint entropy) δύο τυχαίων μεταβλητών  $x$  και  $y$ . Προκύπτει επομένως ότι:

$$H(x, y) = \sum_{x,y} p(x, y) \cdot \log_2 \frac{1}{p(x,y)}$$

Η κοινή εντροπία είναι ένα μέτρο της μέσης ποσότητας της πληροφορίας που παρέχεται όταν είναι γνωστές οι μεταβλητές  $x, y$ .

Η εξαρτώμενη εντροπία (conditional entropy) μιας τυχαίας μεταβλητής  $x$  δεδομένου ότι μια άλλη τυχαία μεταβλητή  $y$  είναι γνωστή ορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$H(x/y) = \sum_{x,y} p(x, y) \cdot \log_2 \frac{1}{p(x/y)}$$

Και αποτελεί μέτρο της αβεβαιότητας γύρω από τη μεταβλητή  $x$  όταν η μεταβλητή  $y$  είναι γνωστή. Με άλλα λόγια, αυτό είναι η ποσότητα της πληροφορίας που απαιτείται ώστε να γνωρίζουμε πλήρως τη μεταβλητή  $x$  δεδομένου ότι γνωρίζουμε την πληροφορία που παρέχεται από τη μεταβλητή  $y$ . Λογικά θα πρέπει να ισχύει,

$$H(x/y) \leq H(x, y)$$

διότι αν η μεταβλητή  $y$  είναι γνωστή έχουμε περισσότερες πληροφορίες στη διάθεσή μας που μπορούν να μας βοηθήσουν να μειώσουμε την αβεβαιότητα γύρω από τη μεταβλητή  $x$ . Αυτή η μείωση στην αβεβαιότητα καλείται αμοιβαία πληροφορία ανάμεσα στις μεταβλητές  $x$  και  $y$  και δίνεται από τη σχέση:

$$I(x ; y) = H(x) - H(x/y)$$

Η παραπάνω σχέση μας δείχνει την πληροφορία που παρέχεται για τη μία μεταβλητή όταν γνωρίζουμε τη δεύτερη. Αποδεικνύεται ότι ισχύει:

$$I(x ; y) = I(y ; x)$$

Δηλαδή, οι πληροφορίες που η μία μεταβλητή παρέχει για την άλλη είναι πάντα ισόποσες.

Η αμοιβαία πληροφορία έχει μεγάλη συγγένεια σαν όρος με τη συνδιακύμανση (covariance), αλλά η πρώτη είναι προτιμητέα στη χρήση.

Έστω  $x$  μια τυχαία μεταβλητή που αντιπροσωπεύει την κατηγορία στην οποία ανήκει ένα αντικείμενο. Επιπλέον, έστω  $y_i$ ,  $i=1,2,\dots,n$  ένα σύνολο γνωρισμάτων που περιγράφει τα αντικείμενα προς κατάταξη.

Με βάση την αρχική θεωρία του Quinlan επέλεξε ως χώρισμα την  $y_i$  μεταβλητή που παρέχει τις περισσότερες πληροφορίες για τη μεταβλητή  $x$ . Μεγιστοποίησε δηλαδή την συνάρτηση  $I(x ; y_i)$  και αυτή η τιμή καλείται κέρδος (gain). Παρόλο που η συγκεκριμένη διαδικασία είχε καλά αποτελέσματα, αποφασίστηκε μια κλίση υπέρ των  $y_i$  μεταβλητών με πολλές εκβάσεις. Κατά συνέπεια, οι πιο ανανεωμένες εκδόσεις του αλγορίθμου επιλέγουν τις  $y_i$  μεταβλητές που μεγιστοποιούν την επόμενη σχέση, η οποία καλείται λόγος κέρδους (gain ratio):

$$\text{gain ratio} = \frac{I(x ; y_i)}{H(y_i)}$$

Ο παραπάνω λόγος εκφράζει το ποσοστό της πληροφορίας που παρέχεται από τη μεταβλητή  $y_i$  και είναι χρήσιμη ώστε να χαρακτηριστεί η μεταβλητή  $x$ .

Σημειώνεται ότι ο αριθμητής  $I(x; y_i)$  πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος ώστε να αποφευχθεί η επιλογή μιας μεταβλητής λόγω μικρής τιμής της εντροπίας της γεγονός που θα οδηγούσε σε αύξηση του λόγου κέρδους.

Ένα κοινό πρόβλημα για την πλειοψηφία των κανόνων και των συστημάτων επαγωγής δέντρων αποφάσεων είναι το γεγονός πως τα παραγόμενα μοντέλα μπορούν εύκολα να προσαρμόζονται στο σύνολο εκπαίδευσης, έτσι η κατάταξη που προκύπτει είναι σχεδόν τέλεια. Συνεπώς, το μοντέλο που προκύπτει είναι πολύ συγκεκριμένο και σε περίπτωση που θέλουμε να κατατάξουμε νέα αντικείμενα δε θα αποδώσει καλά αποτελέσματα, ακόμη περισσότερο στην περίπτωση που το training set έχει 'θόρυβο' δηλαδή σφάλματα. Στην τελευταία περίπτωση το μοντέλο θα επηρεαζόταν από τα σφάλματα γεγονός που θα οδηγούσε σε απώλεια γενίκευσης. Αυτό το πρόβλημα είναι γνωστό ως overfitting.

Ο πιο συχνός τρόπος για να μειωθεί το παραπάνω πρόβλημα στο πλαίσιο των δέντρων αποφάσεων και στη δημιουργία κανόνων βασίζεται στην εξάλειψη κάποιων καταστάσεων στις διακλαδώσεις του δέντρου ή των κανόνων, ώστε να επιτύχουμε πιο γενικευμένα μοντέλα με αυτές τις τροποποιήσεις στους αλγόριθμους. Στην περίπτωση των δέντρων αποφάσεων, αυτή η διαδικασία μπορεί να θεωρηθεί ως μια διαδικασία 'κλαδέματος' (pruning process). Με αυτό τον τρόπο θα αυξηθούν οι λανθασμένες κατατάξεις (misclassifications) στο training set αλλά πιθανότατα θα μειωθούν στο σετ που δεν είχε χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή του δέντρου απόφασης.

Ο Quinlan πρότεινε την ενσωμάτωση μιας τεχνικής προ-κλαδέματος για το αρχικό δέντρο αντί για την ανάπτυξη ενός 'κλαδεμένου' δέντρου απευθείας. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στην αντικατάσταση ενός κλάδου του δέντρου από ένα φύλλο που θα εξαρτάται από ένα προβλεπόμενο βαθμό σφάλματος (error rate). Υποθέτουμε ότι υπάρχει ένα φύλλο που καλύπτει  $N$  αντικείμενα και κατατάσσει με λανθασμένο τρόπο τα  $E$ . Η κατάσταση αυτή μπορούμε να πούμε ότι περιγράφεται από τη διωνυμική κατανομή στην οποία το πείραμα πραγματοποιείται  $N$  φορές και παρουσιάζονται  $E$  σφάλματα (errors).

Για το θέμα αυτό, εκτιμάται η πιθανότητα εμφάνισης σφάλματος  $p_e$  και θα θεωρηθεί ως ο προαναφερθείς βαθμός σφάλματος. Επομένως είναι απαραίτητο να υπολογιστούν τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τη διωνυμική κατανομή της πιθανότητας σφάλματος. Το άνω όριο του διαστήματος θα είναι η ζητούμενη πιθανότητα  $p_e$  ώστε να λαμβάνεται το μέγιστο δυνατό σφάλμα.

Επιστρέφοντας στην περίπτωση του φύλλου που καλύπτει  $N$  αντικείμενα, ο αριθμός των προβλεπόμενων σφαλμάτων θα είναι  $N \cdot p_e$ . Αν τώρα, αντί για ένα φύλλο θεωρήσουμε έναν κλάδο τότε ο αριθμός των προβλεπόμενων σφαλμάτων θα είναι το άθροισμα των προβλεπόμενων σφαλμάτων των φύλλων που ανήκουν στο συγκεκριμένο κλάδο. Επομένως προκύπτει ο παρακάτω κανόνας αντικατάστασης:

‘Ένας κλάδος ενός δέντρου θα αντικαθίσταται από ένα φύλλο όταν και μόνο όταν ο αριθμός των προβλεπόμενων σφαλμάτων του φύλλου είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο του κλάδου’.

Ολοκληρώνοντας, αναφέρουμε ότι ο αλγόριθμος See5 περιλαμβάνει επιπλέον λειτουργίες όπως τη μέθοδο μετατροπής ενός δέντρου απόφασης σε ένα σύνολο κανόνων κατάταξης που είναι γενικά πιο κατανοητό σε σχέση με το δέντρο.



## 5.2 Εισαγωγή Δεδομένων στο πρόγραμμα See5

Για τη λειτουργία του προγράμματος See5 απαιτούνται 2 αρχεία.

- Το αρχείο .names
- Το αρχείο .data

Το πρώτο περιγράφει τις μεταβλητές και τις κλάσεις που πρόκειται να παραχθούν με βάση τα υπάρχοντα δεδομένα. Στην περίπτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας το αρχείο .names έχει την παρακάτω μορφή.

**Πίνακας 5.1:**Αρχείο .names

Consequence. | the target attribute

GT: continuous.

Age: continuous.

MCR: continuous.

Cargo\_Status: Loaded, Ballast, Empty.

Casualty\_type: Foundered, Collision, Contact, Wrecked-Stranded, Fire, Hull-Machinery.

Weather\_Condition: Good, Heavy, Hurricane.

Consequence: Low, Medium, High.

ID: label.

Στην αρχή δηλώνεται η μεταβλητή που αποτελεί το βασικό κριτήριο της κατάταξης. Στην προκειμένη περίπτωση είναι οι συνέπειες του ατυχήματος και συγκεκριμένα οι ανθρώπινες απώλειες. Στη συνέχεια, δηλώνεται η κάθε μεταβλητή και το εύρος τιμών της.

Η παράμετρος του μεγέθους ορίζεται ως σθνεχή μεταβλητή.

Η παράμετρος της ηλικίας ορίζεται ως συνεχή μεταβλητή.

Η παράμετρος της ισχύος ορίζεται ως συνεχή μεταβλητή.

Η παράμετρος της κατάστασης φόρτωσης ορίστηκε όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο. Υπάρχουν δηλαδή 3 πιθανές καταστάσεις.

Η παράμετρος του τύπου του ατυχήματος ορίστηκε όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο. Υπάρχουν δηλαδή 6 πιθανοί τύποι.

Η παράμετρος των καιρικών συνθηκών λαμβάνει 3 πιθανές τιμές όπως και ορίστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Τέλος, για την μεταβλητή των συνεπειών έγινε ο εξής διαχωρισμός σε κλάσεις:

1<sup>ov</sup>) Low Consequences όταν ισχύει fatalities<1.

2<sup>ov</sup>) Medium Consequences όταν ισχύει 1≤fatalities≤5.

3<sup>ov</sup>) High Consequences για τα σενάρια με fatalities>5.

Το δεύτερο αρχείο περιλαμβάνει το σύνολο των πραγματικών τιμών των μεταβλητών για τα σενάρια που επιλέγονται προς κατάταξη. Με την έκδοση του προγράμματος See5 που χρησιμοποιήθηκε είναι δυνατόν να επεξεργαστούν το πολύ 400 σενάρια. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται η βάση δεδομένων από την οποία θα εκπαιδευθεί το σύστημα έτσι ώστε να προχωρήσει στη διαμόρφωση και ισχυροποίηση των κατάλληλων ορίων ανάμεσα στις προαναφερόμενες κλάσεις. Το αρχείο .data έχει την παρακάτω μορφή.

**Πίνακας 5.2:** Αρχείο .data

4948,	0.67,	2823,	Ballast,	Collision,	Hurricane,	Medium,	1
613,	5.98,	694,	Loaded,	Wrecked-Stranded,	Hurricane,	High,	2
3596,	9.42,	828,	Loaded,	Fire-Explosion,	Hurricane,	Medium,	3
2978,	21.55,	861,	Loaded,	Wrecked-Stranded,	Hurricane,	Medium,	4
1125,	1.98,	3228,	Loaded,	Collision,	Heavy,	Medium,	5
2015,	20.17,	4541,	Empty,	Hull-Machinery,	Hurricane,	High,	6
1334,	17.34,	2955,	Empty,	Foundered,	Hurricane,	Medium,	7
2155,	19.44,	4057,	Loaded,	Wrecked-Stranded,	Heavy,	High,	8
4400,	9.22,	2072,	Loaded,	Foundered,	Heavy,	Medium,	9
10709,	18.40,	578,	Loaded,	Collision,	Hurricane,	Low,	10
5596,	10.67,	692,	Ballast,	Hull-Machinery,	Hurricane,	Low,	11
5937,	4.24,	2826,	Loaded,	Fire-Explosion,	Hurricane,	Low,	12
697,	2.56,	2396,	Loaded,	Collision,	Hurricane,	Medium,	13
6973,	15.54,	728,	Loaded,	Fire-Explosion,	Hurricane,	Medium,	14
2295,	17.45,	1087,	Loaded,	Foundered,	Heavy,	Medium,	15
2644,	7.12,	1398,	Ballast,	Fire-Explosion,	Hurricane,	Low,	16
1525,	4.06,	3186,	Ballast,	Wrecked-Stranded,	Hurricane,	High,	17
2622,	8.08,	5193,	Loaded,	Foundered,	Heavy,	High,	18
1399,	9.86,	1793,	Loaded,	Collision,	Hurricane,	Medium,	19
1142,	13.89,	1376,	Loaded,	Fire-Explosion,	Good,	High,	20
1267,	5.32,	717,	Loaded,	Collision,	Hurricane,	Medium,	21
8457,	22.48,	914,	Loaded,	Wrecked-Stranded,	Hurricane,	Medium,	22
11142,	13.21,	863,	Empty,	Wrecked-Stranded,	Hurricane,	Medium,	23
2119,	11.35,	4617,	Ballast,	Foundered,	Heavy,	High,	24
1328,	12.27,	7030,	Empty,	Foundered,	Heavy,	Medium,	25
3296,	15.16,	1307,	Ballast,	Contact,	Good,	High,	26
2823,	11.19,	920,	Ballast,	Wrecked-Stranded,	Hurricane,	Medium,	27
6984,	4.10,	742,	Loaded,	Fire-Explosion,	Hurricane,	Medium,	28
1390,	13.18,	2904,	Loaded,	Foundered,	Hurricane,	Medium,	29

2368,	1.80,	2097,	Loaded,	Wrecked-Stranded,	Hurricane,	High,	30
2166,	18.09,	1233,	Loaded,	Foundered,	Hurricane,	Medium,	31
888,	20.54,	1222,	Loaded,	Wrecked-Stranded,	Hurricane,	High,	32
5750,	18.54,	2802,	Loaded,	Fire,	Hurricane,	High,	33
3703,	0.74,	4594,	Loaded,	Foundered,	Unknown,	High,	34
2017,	6.35,	2766,	Loaded,	Fire,	Heavy,	Medium,	35
3687,	20.75,	2486,	Loaded,	Foundered,	Unknown,	Medium,	36
1536,	15.32,	1488,	Loaded,	Foundered,	Unknown,	Low,	37
3955,	5.09,	1024,	Ballast,	Wrecked-Stranded,	Hurricane,	Low,	38
1866,	5.29,	2469,	Loaded,	Foundered,	Hurricane,	Low,	39
4862,	16.42,	2404,	Loaded,	Foundered,	Hurricane,	Low,	40
4513,	9.95,	3858,	Empty,	Collision,	Heavy,	Medium,	41
7702,	6.24,	1094,	Loaded,	Foundered,	Hurricane,	Medium,	42
5993,	13.57,	970,	Loaded,	Foundered,	Heavy,	Low,	43
2497,	21.18,	5217,	Ballast,	Wrecked-Stranded,	Unknown,	Medium,	44
2677,	14.69,	660,	Loaded,	Fire,	Unknown,	High,	45
4366,	14.19,	1100,	Ballast,	Fire,	Unknown,	Low,	46
3976,	14.38,	932,	Loaded,	Foundered,	Heavy,	Low,	47
3379,	10.17,	659,	Loaded,	Foundered,	Unknown,	Low,	48
1183,	13.26,	884,	Unknown,	Contact,	Unknown,	Medium,	49
2712,	1.32,	1028,	Ballast,	Wrecked-Stranded,	Unknown,	High,	50

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζεται μέρος των σεναρίων (50) για οικονομία χώρου. Το σύνολο των σεναρίων με τις πραγματικές μη-διαχωρισμένες σε κλάσεις τιμές των παραμέτρων περιλαμβάνεται στο παράρτημα 3, όπως έχει ήδη αναφερθεί.

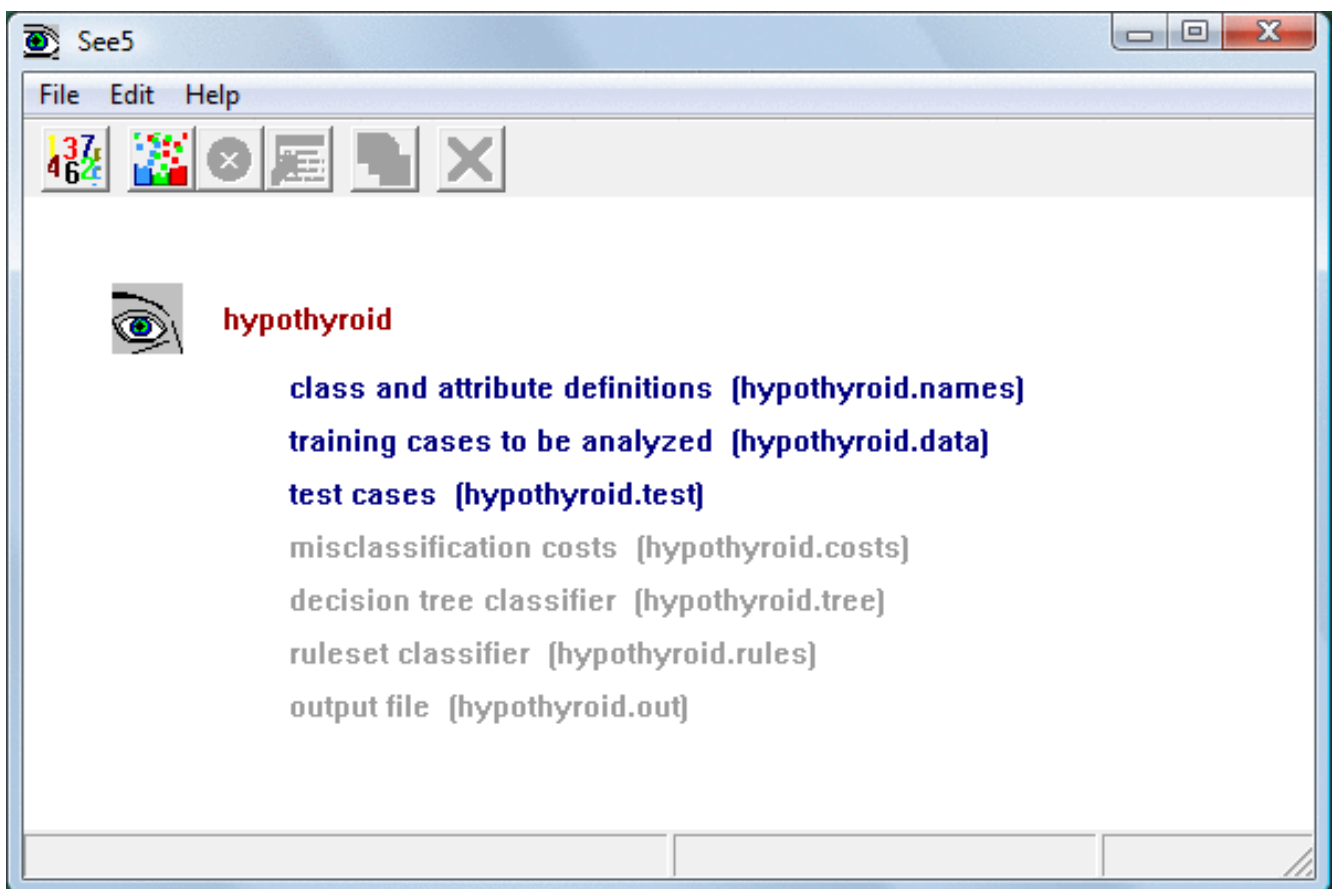
Στο αρχείο .data λοιπόν, οι τιμές των μεταβλητών τοποθετούνται με την ίδια ακριβώς σειρά με την οποία γράφτηκαν οι μεταβλητές στο αρχείο .names. Οι τιμές διαχωρίζονται μεταξύ τους με ( , ) και πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή σε αυτό. Στην τελευταία στήλη τοποθετείται μια μεταβλητή αρίθμησης των σεναρίων ώστε να υπάρξει ο απαιτούμενος ποσοτικός και ποιοτικός έλεγχος.

Το τελευταίο βήμα είναι η επεξεργασία του αρχείου .data από το πρόγραμμα See5 για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Στη συνέχεια γίνεται μια αναφορά του περιβάλλοντος του See5. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το αρχικό παράθυρο του προγράμματος.

Το κεντρικό παράθυρο περιλαμβάνει από τα αριστερά προς τα δεξιά τις εξής επιλογές:

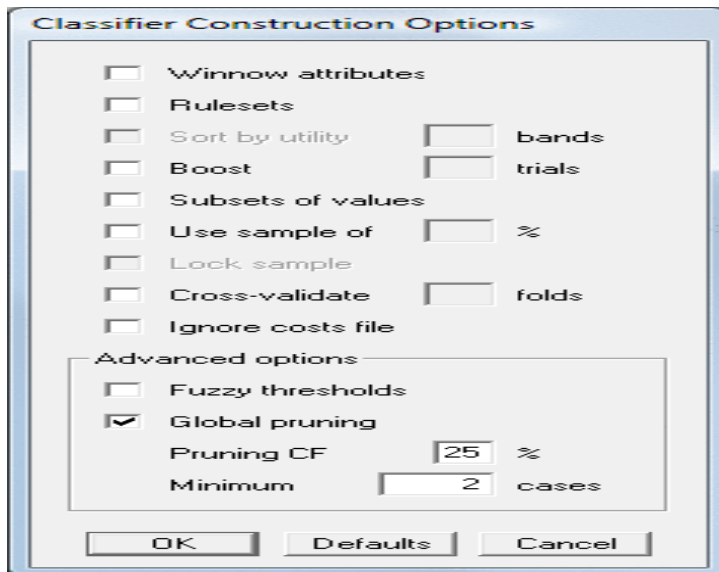
- Locate Data: με την επιλογή αυτή γίνεται αναζήτηση του αρχείου .data
- Construct Classifier: αφού έχει γίνει εισαγωγή του αρχείου .data γίνεται ρύθμιση των παραμέτρων κατάταξης.
- Stop: η επιλογή αυτή σταματά τη διαδικασία παραγωγής αποτελεσμάτων.
- Review Output: με την εντολή αυτή προβάλλεται ξανά το αρχείο με τα αποτελέσματα.
- Use Classifier: με την εντολή αυτή εφαρμόζεται ο ταξινομητής σε μία ή περισσότερες περιπτώσεις.
- Cross-Reference: με την εντολή αυτή πως οι περιπτώσεις του αρχείου .data περιλαμβάνονται στον ταξινομητή.



Σχήμα 5.1: το user's interface του See5.

Οι παραπάνω εντολές βρίσκονται και στο file menu. Στο edit menu δίνεται δυνατότητα πρόσβασης στο αρχείο .names. Υπάρχουν και άλλα αρχεία .test , .costs που όμως δεν είναι αντικείμενο επεξεργασίας στα πλαίσια της εργασίας.

Σημαντικότερο ρόλο στην ποιότητα των αποτελεσμάτων παίζει η επιλογή των παραμέτρων του ταξινομητή (classifier). Οι πιθανές επιλογές και η σημασία της κάθε μιας αναφέρονται στη συνέχεια.



Σχήμα 5.2:Μενού Επιλογών Κατασκευής Ταξινομητή.

Στο μενού του σχήματος 5.2 υπάρχουν οι παρακάτω επιλογές:

- *Winnow attributes*: Τα δέντρα αποφάσεων ή τα σύνολα κανόνων που παράγονται από το See5 γενικά δε χρησιμοποιούν όλες τις παραμέτρους που έχουμε εισάγει. Η ικανότητα να επιλέγεις ανάμεσα στις μεταβλητές πρόγνωσης είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα των τεχνικών μοντελοποίησης με βάση την παραγωγή δέντρων. Ωστόσο, σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχει αφθονία γνωρισμάτων. Όπου υπάρχουν πολυάριθμες εναλλακτικές για κάθε παράμετρο, είναι πολύ πιθανό πως τουλάχιστον μία θα προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες πρόβλεψης. Σε τέτοιες περιπτώσεις, θα ήταν χρήσιμη η προεπιλογή ενός υποσυνόλου των γνωρισμάτων για την κατασκευή του δέντρου. Αυτό στο πρόγραμμα See5 γίνεται με την επιλογή winnow attributes, η οποία διαχωρίζει τα χρήσιμα γνωρίσματα από τα μη χρήσιμα.
- *Rulesets*: με την επιλογή τα αποτελέσματα δεν έχουν δενδροειδή μορφή αλλά αποτελούν ένα σύνολο μη ταξινομημένων συλλογών από απλούς κανόνες που ορίζουν τα δεδομένα που εισήχθησαν και πολλές φορές είναι πιο κατανοητά σε σχέση με τα αντίστοιχα δέντρα.
- *Boosting*: με την επιλογή παράγονται περισσότεροι του ενός ταξινομητές, ανάλογα με την τιμή των trials. Η διαδικασία είναι η εξής. Σε πρώτο στάδιο, ένα δέντρο αποφάσεων κατασκευάζεται με βάση τα εισαγόμενα δεδομένα. Ο ταξινομητής θα κάνει συνήθως κάποια λάθη σε κάποιες περιπτώσεις των δεδομένων. Όταν κατασκευαστεί ο δεύτερος ταξινομητής, θα δοθεί περισσότερη προσοχή σε αυτές τις περιπτώσεις σε προσπάθεια να χαρακτηριστούν σωστά. Κατά συνέπεια, ο δεύτερος ταξινομητής θα είναι εν γένει διαφορετικός από τον πρώτο. Θα κάνει όμως και αυτός κάποια λάθη, τα οποία θα γίνουν το επίκεντρο προσοχής κατά την κατασκευή του τρίτου ταξινομητή. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται τόσες φορές όσες και ο αριθμός των trials που έχει προεπιλεγεί. Σταματά όμως αυτόματα, όταν ο τελευταίος κατά σειρά ταξινομητής που έχει κατασκευαστεί είναι είτε παρά πολύ ακριβής είτε πάρα πολύ ανακριβής.
- *Subsets of Values*: με αυτήν την επιλογή χρησιμοποιούνται υποσύνολα των τιμών των γνωρισμάτων του αρχείου .data .
- *Use sample of x%*: η επιλογή αυτή έχει δύο συνέπειες. Πρώτον, επιλέγεται κατά τυχαίο τρόπο ένα x% των περιπτώσεων για την κατασκευή του

ταξινομητή. Δεύτερον, ο ταξινομητής αξιολογείται με βάση ένα σύνολο μη-επικαλυπτόμενων περιπτώσεων ενός άλλου δείγματος, του ίδιου μεγέθους με αυτό που επιλέχτηκε τυχαία (αν  $x < 50\%$ ) ή αποτελούμενο από το σύνολο των περιπτώσεων που δεν χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του ταξινομητή (για  $x \geq 50\%$ ). Κάθε φορά που κατασκευάζεται ένας ταξινομητής το τυχαίο δείγμα θα είναι διαφορετικό και συνεπώς τα αποτελέσματα δε θα είναι τα ίδια. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με την επιλογή *Lock sample* που κρατά το δείγμα σταθερό. Η επιλογή αυτή αναιρείται όταν αλλάζουμε το ποσοστό του δείγματος που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε.

- *Cross-validation*: η επιλογή αυτή λειτουργεί συνδυαστικά με ένα αρχείο *.test* και χρησιμοποιείται όταν τα αρχεία *.data* και *.test* είναι αρκετά μεγάλα σε μέγεθος.
- *Ignore Costs file*: με την επιλογή αυτή αγνοείται το αρχείο *.costs*.
- *Fuzzy Thresholds*: όταν οι παράμετροι λαμβάνουν τιμές στα όρια των χωρισμάτων που έχουν προεπιλεγεί για τη διαμόρφωση κλάσεων τότε για να μη δημιουργούνται προβλήματα κατάταξης επιλέγουμε τη συγκεκριμένη εντολή. Όταν αυτή επικαλείται, κάθε κατώτατο όριο χωρίζεται σε 3 περιοχές που ορίζονται από ένα κατώτερο όριο *lb*, ένα ανώτερο όριο *ub* και μια κεντρική τιμή *t*. Αν η τιμή του γνωρίσματος που αμφισβητείται είναι μικρότερη του *lb* ή μεγαλύτερη του *ub*, τότε η ταξινόμηση συνεχίζεται με χρήση του κλάδου που απαντά στο αποτέλεσμα ' $\leq$ ' ή ' $\geq$ ' αντίστοιχα. Αν η τιμή της παραμέτρου είναι ανάμεσα στα *lb* και *ub* χρησιμοποιούνται και οι 2 κλάδοι και τα αποτελέσματα συνδυάζονται πιθανοθεωρητικά. Οι τιμές των *lb* και *ub* καθορίζονται από το *See5* με βάση μια ανάλυση ευαισθησίας σε μικρές αλλαγές στο όριο του χωρίσματος. Δε χρειάζεται να είναι συμμετρικές ως προς αυτό.
- *Pruning options*: οι επιλογές αυτές πρέπει να χρησιμοποιούνται με φειδώ, αν όχι καθόλου, και είναι εν γένει ίδιες για όλους τους υπό κατασκευή ταξινομητές. Το *See5* κατασκευάζει τους ταξινομητές σε 2 φάσεις. Σε πρώτη φάση κατασκευάζεται ένα μεγάλο δέντρο που περιγράφει καλά όλα τα δεδομένα και σε δεύτερη φάση το δέντρο αυτό 'κλαδεύεται' αφαιρώντας τα τμήματα εκείνα που προβλέπεται ότι εμφανίζουν το μεγαλύτερο βαθμό σφαλμάτων. Αρχικά, εξετάζεται αν κάποιος κλάδος πρέπει να αντικατασταθεί από ένα φύλλο και στη συνέχεια επανεξετάζεται το σύνολο του δέντρου. Αν απενεργοποιηθεί η επιλογή *Global pruning* τότε δε γίνεται η δεύτερη φάση 'κλαδέματος' και προκύπτουν μεγαλύτερα δέντρα ή σύνολα κανόνων. Η επιλογή *Pruning CF x%* επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο εκτιμώνται τα σφάλματα και άρα την αυστηρότητα του 'κλαδέματος'. Τιμές μεγαλύτερες από το αρχικό 25% συντελούν σε μικρότερο 'κλάδεμα' ενώ τιμές μικρότερες οδηγούν σε μεγαλύτερο 'κλάδεμα' του δέντρου. Η εντολή *Minimum cases* περιορίζει το βαθμό που το αρχικό δέντρο περιγράφει τα δεδομένα. Σε κάθε σημείο διακλάδωσης σε ένα δέντρο αποφάσεων ο αρχικός ελάχιστος αριθμός των περιπτώσεων πρέπει να ακολουθεί τουλάχιστον 2 κλάδους. Αν η τιμή είναι μεγαλύτερη του 2, αυτό οδηγεί σε ένα αρχικό δέντρο που ταιριάζει περίπου στα δεδομένα, μια μορφή 'προ-κλαδέματος'.

### 5.3 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της κατάταξης των σεναρίων με το πρόγραμμα See5 είχαν την παρακάτω μορφή. Υπενθυμίζουμε ότι το πρόγραμμα εέχει δυνατότητα κατάταξης μέχρι 400 περιπτώσεων, επομένως έγιναν 3 τρεξίματα.

#### 1<sup>ο</sup> Τρέξιμο

Class specified by attribute `Consequence`

\*\* This demonstration version cannot process \*\*

\*\* more than 400 training or test cases. \*\*

Read 400 cases (8 attributes) from finale(1-400).data

Decision tree:

Weather\_Conditions = Good:

:...MCR <= 1297 (3788): Medium (17/7)

: MCR >= 5539 (3788): Low (3)

Weather\_Conditions = Heavy:

:...Cargo\_Status = Empty: Medium (13/1)

: Cargo\_Status = Ballast:

: : ...Casualty\_type = Hull-Machinery: Medium (0)

: : Casualty\_type = Contact: Low (2/1)

: : Casualty\_type = Foundered:

: : : ...Age <= 2.93 (9.245): Medium (3/1)

: : : Age >= 11.35 (9.245): High (3)

: : Casualty\_type = Wrecked-Stranded:

: : : ...MCR <= 892 (1022.5): High (4/1)

: : : MCR >= 1442 (1022.5): Medium (8/2)

: : Casualty\_type = Fire-Explosion:

: : : ...GT <= 4712 (5403): High (7/2)

: : : GT >= 6714 (5403): Low (2/1)

: : Casualty\_type = Collision:

: : : ...GT >= 4129 (3760.5): Medium (2)

: : : GT <= 3392 (3760.5):

: : : ...Age <= 15.76 (17.485): Low (2)

: : : Age >= 19.21 (17.485): High (2)

: Cargo\_Status = Loaded:

: : ...Casualty\_type = Fire-Explosion: Medium (11/6)

: : Casualty\_type = Hull-Machinery: High (2)

: : Casualty\_type = Collision:

: : : ...MCR <= 1448 (1466): Low (2/1)

: : : MCR >= 1484 (1466): Medium (4)

: : Casualty\_type = Contact:

```

:   ...Age <= 10.69 (13.065): High (2)
:   :   Age >= 15.44 (13.065): Medium (2)
:   Casualty_type = Foundered:
:   ...MCR <= 805 (985): High (2)
:   :   MCR >= 1228 (985):
:   :   :   ...MCR <= 2175 (4823.5): Medium (7/1)
:   :   :   MCR >= 5443 (4823.5): Low (2/1)
:   Casualty_type = Wrecked-Stranded:
:   ...Age >= 21.99 (17.35): Low (4/2)
:   :   Age <= 14.1 (17.35):
:   :   :   ...MCR >= 1734 (1711.5): Medium (5)
:   :   :   MCR <= 1689 (1711.5):
:   :   :   ...GT <= 3310 (3758.5): High (4)
:   :   :   GT >= 4207 (3758.5): Medium (3/1)
Weather_Conditions = Hurricane:
...GT <= 2202 (2447.5):
...Casualty_type = Collision: Medium (21/7)
:   Casualty_type = Wrecked-Stranded: High (18/7)
:   Casualty_type = Hull-Machinery:
:   :   ...MCR <= 1417 (1761.5): Medium (2)
:   :   :   MCR >= 2106 (1761.5): Low (2/1)
:   Casualty_type = Contact:
:   :   ...MCR >= 1780 (1494.5): High (4)
:   :   :   MCR <= 1209 (1494.5):
:   :   :   :   ...Age <= 13.84 (14.07): Medium (2)
:   :   :   :   Age >= 14.3 (14.07): Low (2/1)
:   Casualty_type = Foundered:
:   :   ...Cargo_Status = Ballast: Low (3/1)
:   :   :   Cargo_Status = Empty:
:   :   :   :   ...Age <= 16.22 (16.235): High (3/1)
:   :   :   :   :   Age >= 16.25 (16.235): Medium (3)
:   :   :   :   Cargo_Status = Loaded:
:   :   :   :   :   ...Age <= 13.18 (14.91): Medium (5/1)
:   :   :   :   :   Age >= 16.64 (14.91):
:   :   :   :   :   ...GT <= 1385 (1775.5): High (2)
:   :   :   :   :   :   GT >= 2166 (1775.5): Medium (2)
:   Casualty_type = Fire-Explosion:
:   :   ...Cargo_Status = Empty: Medium (4/1)
:   :   :   Cargo_Status = Ballast:
:   :   :   :   ...Age <= 14.24 (16.415): Medium (6/1)
:   :   :   :   :   Age >= 18.59 (16.415): High (3)
:   :   :   :   Cargo_Status = Loaded:
:   :   :   :   :   ...GT <= 1263 (1619.5): High (3)
:   :   :   :   :   :   GT >= 1879 (1619.5):
:   :   :   :   :   :   :   ...Age <= 1.08 (13.2): Low (3/1)
:   :   :   :   :   :   :   Age >= 16.14 (13.2): Medium (6/2)
GT >= 2870 (2447.5):
...Casualty_type = Hull-Machinery:
:   ...GT <= 2753 (4600.5): High (4/2)
:   :   GT >= 5596 (4600.5): Low (3)

```



Casualty\_type = Collision:  
 :...Age <= 11.87 (14.61): Low (14/6)  
 : Age >= 15.22 (14.61):  
 : ...GT <= 4138 (5741.5): Medium (10/3)  
 : **GT >= 6178 (5741.5): High (4/1)**

Casualty\_type = Contact:  
 :...Cargo\_Status = Empty: Medium (1)  
 : Cargo\_Status = Loaded:  
 : ...MCR <= 495 (1230): Low (3/1)  
 : : MCR >= 1385 (1230): Medium (5/1)  
 : Cargo\_Status = Ballast:  
 : **...GT <= 5130 (5262): High (2)**  
 : GT >= 5394 (5262): Medium (2)

Casualty\_type = Foundered:  
 :...Cargo\_Status = Ballast: Low (18/7)  
 : Cargo\_Status = Loaded:  
 : ...GT <= 3622 (3784.5): Low (8/2)  
 : : GT >= 5434 (3784.5):  
 : **: ...GT <= 3941 (5462): High (3/1)**  
 : : GT >= 7683 (5462): Medium (3/1)  
 : Cargo\_Status = Empty:  
 : **...MCR <= 899 (1142.5): High (5/1)**  
 : MCR >= 3364 (1142.5):  
 : ...MCR <= 3364 (3495): Medium (2)  
 : MCR >= 3626 (3495): Low (2/1)

Casualty\_type = Wrecked-Stranded:  
 :...Cargo\_Status = Loaded: Medium (30/12)  
 : Cargo\_Status = Ballast:  
 : ...Age <= 2.26 (7.18): Low (5/2)  
 : : Age >= 11.19 (7.18): Medium (12/6)  
 : Cargo\_Status = Empty:  
 : ...MCR <= 1078 (1301.5): Medium (5)  
 : MCR >= 1525 (1301.5):  
 : ...Age <= 18.54 (19.365): Low (3)  
 : Age >= 20.19 (19.365): Medium (3/1)

Casualty\_type = Fire-Explosion:  
 :...Cargo\_Status = Empty:  
 :...GT <= 4003 (4802): Medium (6/1)  
 : GT >= 5213 (4802): Low (2/1)  
 Cargo\_Status = Loaded:  
 :...MCR >= 1242 (1113): Low (14/4)  
 : MCR <= 1001 (1113):  
 : ...GT <= 2688 (2693.5): Low (2/1)  
 : GT >= 2699 (2693.5): Medium (7)  
 Cargo\_Status = Ballast:  
 :...Age >= 23.27 (15.56): Medium (4/1)  
 Age <= 8.79 (15.56):  
 :...MCR <= 1398 (1527): Low (3)  
**MCR >= 1656 (1527): High (3/1)**

Evaluation on training data (400 cases):

Decision Tree

-----

Size Errors

76 118(29.5%) <<

(a) (b) (c) <-classified as

-----

62 31 8 (a): class Low

16 157 17 (b): class Medium

13 33 63 (c): class High

Attribute usage:

100% Weather\_Conditions

92% Casualty\_type

77% GT

75% Cargo\_Status

35% MCR

35% Age

## 2<sup>ο</sup> Τρέξιμο

Class specified by attribute `Consequence'

\*\* This demonstration version cannot process \*\*

\*\* more than 400 training or test cases. \*\*

Read 400 cases (8 attributes) from finale(401-800).data

Decision tree:

Weather\_Conditions = Good:

:...Casualty\_type = Hull-Machinery: Medium (0)

- : Casualty\_type = Foundered: Low (3)
- : Casualty\_type in {Collision,Contact,Wrecked-Stranded}: Medium (9/2)
- : Casualty\_type = Fire-Explosion:
- : ...MCR <= 1710: Medium (3)
- : MCR > 1710: Low (3/1)
- Weather\_Conditions = Heavy:
- ...Cargo\_Status = Empty:
- : ...MCR <= 1492: Medium (10/4)
- : : MCR > 1492: High (13/6)
- : Cargo\_Status = Ballast:
- : ...Casualty\_type in {Contact,Hull-Machinery}: Low (5/3)
- : : Casualty\_type = Foundered:
- : : : ...MCR <= 1269: High (3/1)
- : : : MCR > 1269: Medium (4/1)
- : : Casualty\_type = Collision:
- : : : ...GT <= 2569: Low (2/1)
- : : : GT > 2569: Medium (4/1)
- : : Casualty\_type = Fire-Explosion:
- : : : ...GT <= 3265: High (4/1)
- : : : GT > 3265: Low (4/1)
- : : Casualty\_type = Wrecked-Stranded:
- : : : ...Age <= 14.15: Low (7)
- : : : Age > 14.15:
- : : : ...GT <= 2350: Medium (4/1)
- : : : GT > 2350: High (3/1)
- : Cargo\_Status = Loaded:
- : ...Casualty\_type = Contact: Low (0)

: Casualty\_type = Hull-Machinery: Low (3/2)

: Casualty\_type = Collision:

: :...MCR <= 1580: Low (3/1)

: : MCR > 1580: Medium (3)

: Casualty\_type = Foundered:

: :...MCR <= 2126: Medium (9/3)

: : MCR > 2126:

: : :...GT <= 3550: High (2)

: : GT > 3550: Low (4/1)

: Casualty\_type = Wrecked-Stranded:

: :...Age > 14.08: High (4/1)

: : Age <= 14.08:

: : :...GT <= 1417: Medium (2)

: : GT > 1417: Low (8/1)

: Casualty\_type = Fire-Explosion:

: :...GT > 4925: High (2)

: GT <= 4925:

: :...GT <= 2397: Low (3/1)

: GT > 2397:

: :...GT > 3673: Low (2)

: GT <= 3673:

: :...GT <= 3055: Low (3/1)

: GT > 3055: Medium (3)

Weather\_Conditions = Hurricane:

:...Casualty\_type = Hull-Machinery:

:...Cargo\_Status in {Loaded,Ballast}: Medium (4/1)

: Cargo\_Status = Empty: High (2)

Casualty\_type = Collision:

:...MCR <= 1593:

: :...Cargo\_Status = Empty: Low (1)

: : Cargo\_Status = Loaded:

: : :...MCR <= 587: Low (3/1)

: : : MCR > 587: Medium (6)

: : Cargo\_Status = Ballast:

: : :...GT <= 2467: Medium (2)

: : GT > 2467: Low (3/1)

: MCR > 1593:

: :...GT <= 2203:

**: :...GT <= 1831: High (5)**

: : GT > 1831: Low (5/2)

: GT > 2203:

**: :...GT <= 3743: High (7)**

: GT > 3743:

: :...Age <= 8.43: Medium (3/1)

**: : Age > 8.43: High (5/2)**

Casualty\_type = Contact:

:...Cargo\_Status = Loaded: Low (5/1)

: Cargo\_Status = Empty:

: :...Age <= 11.4: Low (3)

**: : Age > 11.4: High (2)**

: Cargo\_Status = Ballast:

: :...GT > 3673: Medium (4)

: GT <= 3673:

: :...GT <= 1980:

: :...GT <= 1242: Medium (2)  
 : : GT > 1242: Low (2)  
 : GT > 1980:  
 : :...Age <= 14.62: High (4)  
 : Age > 14.62: Medium (3/1)  
 Casualty\_type = Foundered:  
 :...Cargo\_Status = Empty:  
 : :...GT > 4742: Medium (2)  
 : : GT <= 4742:  
 : : :...Age <= 11.29: High (3/1)  
 : : Age > 11.29: Low (3/1)  
 : Cargo\_Status = Loaded:  
 : :...Age > 20.25: Low (3/1)  
 : : Age <= 20.25:  
 : : :...GT <= 3816: Medium (11/1)  
 : : GT > 3816:  
 : : :...Age <= 7.26: Medium (2/1)  
 : : Age > 7.26: Low (4/1)  
 : Cargo\_Status = Ballast:  
 : :...MCR <= 1086: Medium (6/1)  
 : MCR > 1086:  
 : :...GT > 5639: Low (2)  
 : GT <= 5639:  
 : :...MCR > 1543: Medium (13/7)  
 : MCR <= 1543:  
 : :...GT <= 2681: Low (3)  
 : : GT > 2681: High (2)

Casualty\_type = Wrecked-Stranded:

- : ...Cargo\_Status = Ballast:
- : : ...Age > 12.87: High (9/3)
- : : Age <= 12.87:
- : : : ...Age <= 6.92:
- : : : : ...GT <= 3227: Medium (2)
- : : : : GT > 3227: Low (4/1)
- : : : Age > 6.92:
- : : : : ...Age <= 9.93: High (3/1)
- : : : : Age > 9.93: Medium (6)
- : Cargo\_Status = Empty:
- : : ...Age > 13.86:
- : : : : ...GT <= 2686: High (5/2)
- : : : : GT > 2686: Low (4/2)
- : : : Age <= 13.86:
- : : : : ...Age > 9.7: Medium (4)
- : : : : Age <= 9.7:
- : : : : : ...Age <= 4.75: Medium (3)
- : : : : : Age > 4.75: High (2)
- : Cargo\_Status = Loaded:
- : : ...Age <= 8.56: Medium (12/4)
- : : Age > 8.56:
- : : : ...MCR <= 1492: Medium (12/4)
- : : : MCR > 1492:
- : : : : ...GT > 4091: Medium (3/1)
- : : : : GT <= 4091:
- : : : : : ...MCR <= 2202: Low (4)

: MCR > 2202:  
: :...Age <= 18.52: Low (4/1)  
: **Age > 18.52: High** (2)

Casualty\_type = Fire-Explosion:

:...Cargo\_Status = Empty:

:...Age <= 1.64: Low (4/1)  
: Age > 1.64: Medium (11/3)

Cargo\_Status = Loaded:

**:...MCR > 3444: High** (4/1)  
: MCR <= 3444:  
: :...Age <= 4.2:  
: :...GT <= 2222: Medium (2)  
: **: GT > 2222: High** (3/1)  
: Age > 4.2:  
: :...GT <= 1683: Low (4)  
: GT > 1683:  
: :...MCR <= 790: Low (3)  
: MCR > 790:  
: :...Age <= 20.87: Medium (11/3)  
: Age > 20.87: Low (2/1)

Cargo\_Status = Ballast:

**:...MCR > 2651: High** (4)  
MCR <= 2651:  
:...GT > 3768: Medium (7/2)  
GT <= 3768:  
:...MCR <= 1055: Low (2/1)  
MCR > 1055:



...GT <= 1706: High (3)

GT > 1706:

...GT <= 3301: Medium (2)

GT > 3301: High (2)

Evaluation on training data (400 cases):

Decision Tree

-----

Size    Errors

93 91(22.8%) <<

(a) (b) (c) <-classified as

---- ---- ----

84 26 7 (a): class Low

8 148 14 (b): class Medium

12 24 77 (c): class High

Attribute usage:

100% Weather\_Conditions

94% Casualty\_type

89% Cargo\_Status

52% GT

49% MCR

48% Age

### 3<sup>ο</sup> Τρέξιμο

Class specified by attribute `Consequence`

Read 200 cases (8 attributes) from finale(801-1000).data

Decision tree:

Age <= 3.31 (3.605): Medium (32/10)

Age >= 3.82 (3.605):

:...Cargo\_Status = Ballast:

**:...GT <= 1517 (1926): High (13/3)**

: GT >= 2346 (1926):

: :...Weather\_Conditions = Good: Low (1)

: Weather\_Conditions = Hurricane: Medium (31/14)

: Weather\_Conditions = Heavy:

**: :...Casualty\_type = Foundered: High (3/1)**

: Casualty\_type in {Contact,Hull-Machinery}: Low (2)

: Casualty\_type = Collision:

: :...GT <= 3081 (3673): Medium (2)

**: : GT >= 4265 (3673): High (3/1)**

: Casualty\_type = Wrecked-Stranded:

: ...Age <= 6.62 (6.92): High (2)  
: : Age >= 7.22 (6.92): Medium (5)  
: Casualty\_type = Fire-Explosion:  
: ...Age <= 10.92 (15.155): Medium (2/1)  
: Age >= 19.39 (15.155): Low (2)

Cargo\_Status = Empty:

...Casualty\_type = Foundered: Low (8/4)

: Casualty\_type = Contact: High (1)  
: Casualty\_type = Hull-Machinery: Medium (2/1)  
: Casualty\_type = Collision:  
: ...Age <= 6.41 (19.245): Medium (2/1)  
: : Age >= 20.6 (19.245): Low (2)  
: Casualty\_type = Wrecked-Stranded:

: ...Age <= 8.39 (9.389999): High (3)  
: : Age >= 13.29 (9.389999): Medium (7/3)  
: Casualty\_type = Fire-Explosion:  
: ...Weather\_Conditions = Good: Low (1)  
: Weather\_Conditions = Heavy: Medium (2)  
: Weather\_Conditions = Hurricane:  
: ...GT >= 9343 (4081): Low (3)  
: GT <= 2237 (4081):  
: ...GT <= 724 (2104): Low (2/1)

: GT >= 3730 (2104): High (3/1)

Cargo\_Status = Loaded:

...Casualty\_type = Hull-Machinery: Medium (1)

Casualty\_type = Contact:

...Age <= 10.99 (16.76): Medium (6/2)

: Age >= 22.87 (16.76): High (2)

Casualty\_type = Foundered:

:...GT <= 2994 (3539):

: :...GT <= 2225 (2416.5): Medium (3/1)

: : GT >= 2608 (2416.5): Low (6)

: GT >= 3727 (3539):

: :...MCR <= 2138 (2648): High (5/1)

: MCR >= 3158 (2648): Medium (2)

Casualty\_type = Collision:

:...Weather\_Conditions = Good: Medium (0)

: Weather\_Conditions = Heavy: Medium (2)

: Weather\_Conditions = Hurricane:

: :...GT >= 8021 (4732): Medium (3/1)

: GT <= 4111 (4732):

: :...Age <= 17.12 (17.405): High (4)

: Age >= 17.69 (17.405): Medium (3/1)

Casualty\_type = Wrecked-Stranded:

:...Weather\_Conditions = Good: Medium (0)

: Weather\_Conditions = Heavy: Medium (5/1)

: Weather\_Conditions = Hurricane:

: :...MCR >= 2849 (2033): Medium (3)

: MCR <= 1683 (2033):

: :...MCR <= 708 (1294.5): Low (4/1)

: MCR >= 1683 (1294.5): High (4/1)

Casualty\_type = Fire-Explosion:

:...GT >= 4157 (3896): Medium (4)

GT <= 3635 (3896):

:...Age <= 7.68 (8.665): Medium (2)

Age >= 9.65 (8.665):

:...GT >= 3635 (2436): High (3/1)

GT <= 1739 (2436):

:...Age <= 16.36 (16.77): Low (2)

Age >= 17.18 (16.77): High (2)

Evaluation on training data (200 cases):

Decision Tree

-----

Size    Errors

44 54(27.0%) <<

(a) (b) (c) <-classified as

---- ---- ----

26 23 2 (a): class Low

3 82 10 (b): class Medium

4 12 38 (c): class High

Attribute usage:

100% Age

85% Cargo\_Status  
63% Casualty\_type  
57% GT  
49% Weather\_Conditions  
10% MCR

### Σχολιασμός

Τα αποτελέσματα έχουν δενδροειδή μορφή. Συγκεκριμένα, η κατάκορυφη στοίχιση υποδηλώνει ότι τα στοιχεία ανήκουν στην ίδια κατηγορία είναι δηλαδή είτε κλάδοι είτε φύλλα. Μόλις η στοίχιση μεταφέρεται κατακόρυφα προς τα δεξιά, τότε τα νέα στοιχεία είναι είτε υποκλάδοι των κλάδων είτε φύλλα των υπόκλάδων. Τελικά, κάθε διαδρομή, δηλαδή στην ουσία κάθε φύλλο χαρακτηρίζεται από μία τιμή Low, Medium ή High που δηλώνει το μέγεθος των απωλειών. Αυτό συμβαίνει διότι αυτή είναι κύρια παράμετρος κατάταξης.

Ακόμη, στο τέλος κάθε πιθανής διαδρομής υπάρχει ο χαρακτηρισμός (n/m). Ο αριθμός n υποδηλώνει τον αριθμό των περιπτώσεων που κατάτασσονται σε αυτό φύλλο, ενώ ο αριθμός m υποδηλώνει τον αριθμό των περιπτώσεων που έχουν καταταχθεί λανθασμένα από το συγκεκριμένο φύλλο. Κάποιες φορές παρατηρείται οι αριθμοί να μην είναι ακέραιοι αλλά δεκαδικοί. Αυτό συμβαίνει όταν η τιμή της παραμέτρου στο δέντρο δεν είναι γνωστή και το πρόγραμμα χωρίζει αυτό αυτόματα την περίπτωση σε ένα κλάσμα και αποδίδει μια τιμή σε κάθε κλάδο.

Ένα δεύτερο σημείο που πρέπει να σχολιαστεί επί των αποτελεσμάτων είναι πως στο τέλος κάθε δέντρου εμφανίζεται ένας αριθμός σφάλματος που δηλώνει τον αριθμό των περιπτώσεων που κατατάχτηκαν με λανθασμένο τρόπο, και ένας πίνακας που δείχνει πως ήταν η αναλογία σε κλάσεις Low, Medium High των περιπτώσεων που εισάχθηκαν και πως τελικά έγινε η κατάταξή τους. Τέλος, εμφανίζεται ο βαθμός συμμετοχής της κάθε παραμέτρου στην παραγωγή του δέντρου. Στη δική μας περίπτωση ο βαθμός σφάλματος ήταν και στα 3 τρεξίματα περίπου 25% που θεωρείται αποδεκτό, ενώ, με την εξαίρεση ίσως της παραμέτρου MCR, όλες οι παράμετροι συμμετέχουν σε αρκετά μεγάλο βαθμό. Στο τρίτο σενάριο, η μορφή του δέντρου και ο βαθμός συμμετοχής των παραμέτρων στη διαδικασία κατάταξης εμφανίζεται αρκετά διαφορετική σε σχέση με τα πρώτα 2. Αυτό οφείλεται πιθανότατα στο μειωμένο αριθμό (200) περιπτώσεων που λαμβάνονται υπόψιν.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, στόχος είναι να επισημανθούν τα σενάρια αυτά που θα προκαλούν τις μεγαλύτερες συνέπειες, ώστε κάποιος να μπορεί να μειώσει το μέγεθος μια μελέτης με επίκεντρο την ασφάλεια. Επειδή οι επιμέρους περιπτώσεις είναι πάρα πολλές θα αναφερθούν ενδεικτικά μερικές τέτοιες περιπτώσεις σεναρίων.

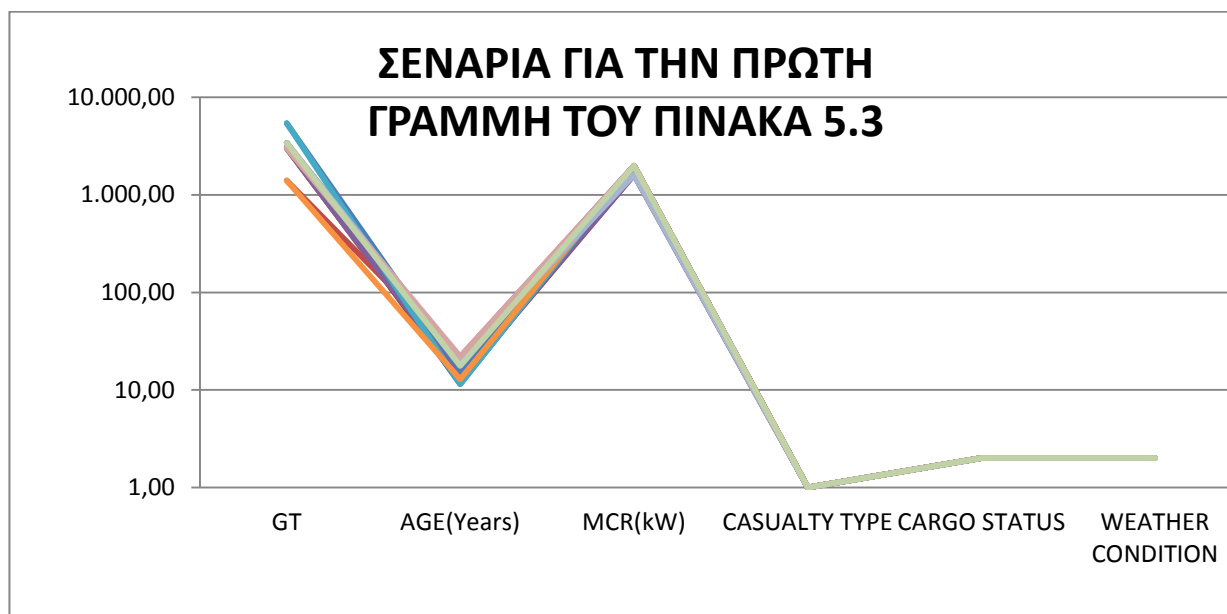
Πρέπει όμως να επισημανθεί ότι δεν υπήρξε ατύχημα κάτω από καλές καιρικές συνθήκες (Good), ενώ τα ατυχήματα που φαίνεται να είναι αυτά που προκαλούν τις σοβαρότερες συνέπειες είναι αυτά των κατηγοριών *Foundered* και *Wrecked-Stranded*. Στα παραπάνω δέντρα έχουν σημειωθεί με κόκκινο τα φύλλα με το χαρακτηρισμό High ως προς την παράμετρο *Consequence*.

**Πίνακας 5.3:** Σενάρια με τις πιο μεγάλες συνέπειες.

GT	AGE(Years)	MCR(kW)	CASUALTY TYPE	CARGO STATUS	WEATHER CONDITION
	≥11.35		Foundered	Ballast	Heavy
		≥1442	Wrecked/Stranded	Ballast	Heavy
≤4712			Fire/Explosion	Ballast	Heavy
≤3310	≤14.1	≤1681	Wrecked/Stranded	Loaded	Heavy
	≤10.69		Contact	Loaded	Heavy
≤2202	≤16.22		Foundered	Empty	Hurricane
≤2202	≥18.59		Fire/Explosion	Ballast	Hurricane
≥2870		≤899	Foundered	Empty	Hurricane
≤2753			Hull/Machinery		Hurricane
≥6178	≥15.22		Collision		Hurricane

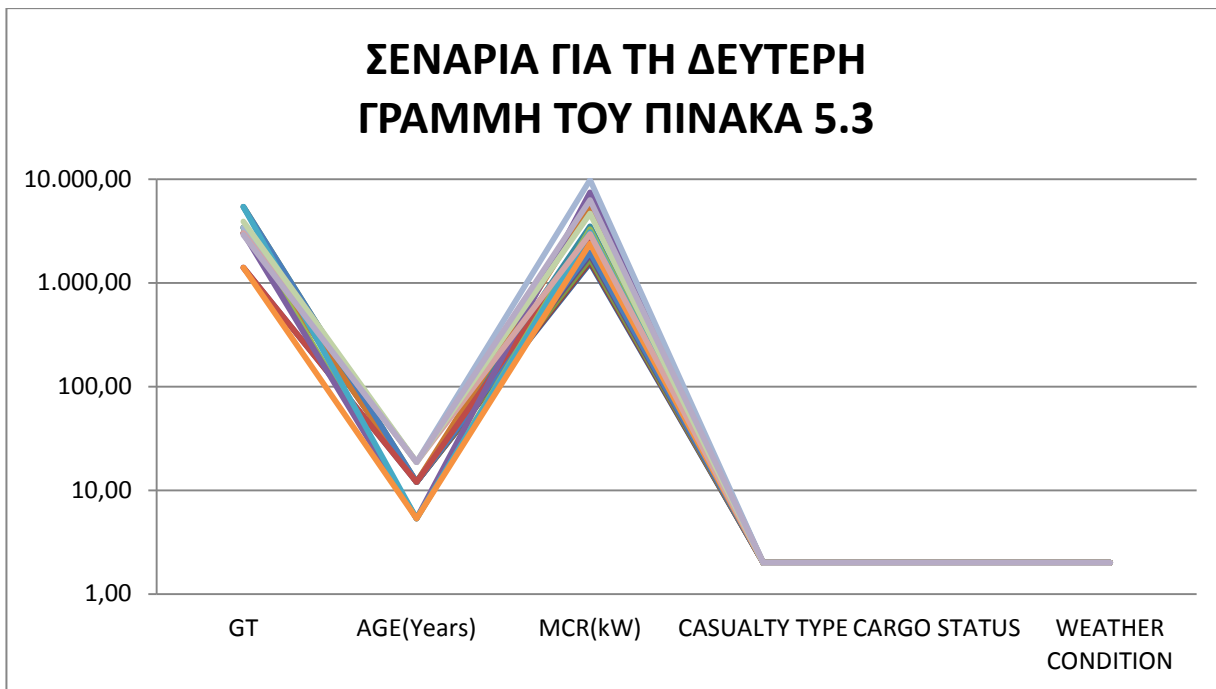
Στον παραπάνω πίνακα ορισμένα κελιά είναι κενά. Αυτό σημαίνει πως στη διαδικασία κατάταξης που οδήγησε στο συγκεκριμένο φύλλο οι παράμετροι των οποίων τα κελιά δεν έχουν τιμή, δεν έλαβαν κανένα μέρος. Δηλαδή, μπορούν να λάβουν οποιαδήποτε τιμή του εύρους τους. Επομένως μελετώντας την κάθε γραμμή του παραπάνω πίνακα μπορούν να προκύψουν περαιτέρω ομάδες σεναρίων.

Για παράδειγμα, αν στην πρώτη γραμμή λάβουμε 4 πιθανές τιμές του GT, και συγκεκριμένα τη μέση τιμή, τη διάμεσο και τις τιμές που προκύπτουν αν προστεθεί ή αφαιρεθεί μία τυπική απόκλιση, 4 πιθανές τιμές του MCR (με το ίδιο σκεπτικό) και συνδυάσουμε τις τιμές αυτές προκύπτουν 16 σενάρια στα οποία επιλέγονται τυχαία ηλικίες μεγαλύτερες από 11.35 έτη. Τα σενάρια αυτά απεικονίζονται στο επόμενο σχήμα.

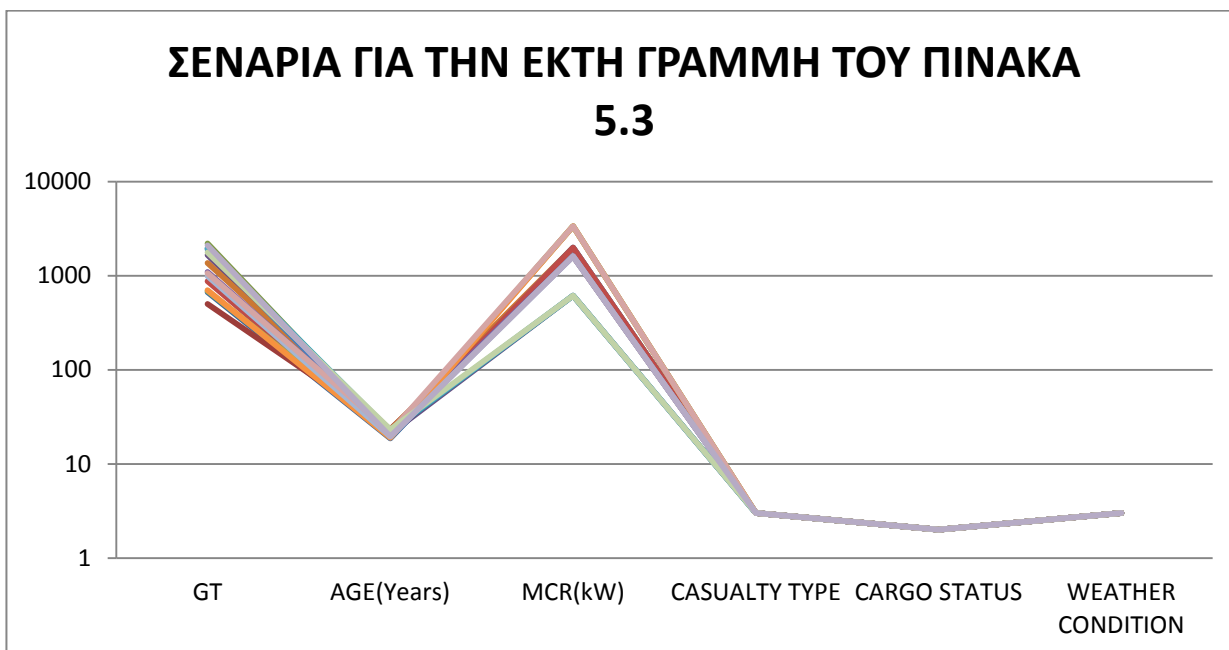


**Σχήμα 5.3:** Πιθανά σενάρια της κατάστασης που περιγράφεται στην πρώτη γραμμή του πίνακα 5.3.

Το ίδιο μπορεί να γίνει και για τις υπόλοιπες γραμμές του πίνακα 5.3. Ενδεικτικά παρατίθενται τα σχήματα για τη δεύτερη και την έκτη γραμμή. Τα μεγέθη των παραμέτρων των οποίων τα κελιά του πίνακα ήταν κενά αντιπροσωπεύονται από 4 τιμές με το σκεπτικό που περιγράφηκε νωρίτερα.



Σχήμα 5.4: Πιθανά σενάρια της κατάστασης που περιγράφεται στη δεύτερη γραμμή του πίνακα 5.3.



Σχήμα 5.5: Πιθανά σενάρια της κατάστασης που περιγράφεται στην έκτη γραμμή του πίνακα 5.3.



## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup> :ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΈΡΕΥΝΑ

Αρχικά,οφείλουμε να κάνουμε την πρώτη παρατήρηση πως είναι επιτακτική ανάγκη να αναβαθμιστούν οι βάσεις δεδομένων που εν γένει είναι ιδιαίτερα ελλιπείς και αποτελούν σημαντικό τροχοπέδη σε οποιαδήποτε προσπάθεια μελέτης.

Πέρα όμως από αυτό το σχόλιο,το σημαντικό που προέκυψε από την εξερεύνηση των δεδομένων είναι η μεγάλη αύξηση ατυχημάτων που παρατηρείται την περασμένη 15ετία για πλοία τύπου Γ/Φ γεγονός που αναδεικνύεται σε μεγαλύτερο βαθμό μέσω της σύγκρισης με πλοία δια φορετικού τύπου όπως τα Tankers,των οποίων η ετήσια μεταβολή του αριθμού των ατυχημάτων βρίσκεται σε πλήρη αντίθεση,αφού μειώνεται διαρκώς.Αυτό σημαίνει ότι οι αυστηρότεροι κανονισμοί έχουν έμπρακτα αποτελέσματα και ίσως θα έπρεπε να εφαρμοστούν τέτοιοι και στην περίπτωση των General Cargo Ships.

Από τις αναφορές ατυχημάτων που βρέθηκαν στη βάση δεδομένων της Sea –Web διαπιστώθηκε πως οι περιοχές που συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ποσοστό των ατυχημάτων είναι οι γεωγραφικές ζώνες China,Japan & Korea και Br.Isles,N.Sea,E.Chnl,Biscay που συγκεντρώνουν αθροιστικά περίπου το 40% του συνόλου των ατυχημάτων που βρέθηκαν.Αυτό προκαλεί τρομερή εντύπωση και μας βάζει σε σοβαρές σκέψεις όσον αφορά τον έλεγχο της κίνησης των πλοίων ο οποίος είναι ανμενόμενα υψηλός σε αυτές στις περιοχές αλλά και πιθανώς της ελλιπούς χαρτογράφησης αυτών των περιοχών καθώς οι δεινές καιρικές συνθήκες που συχνά παρατηρούνται σε αυτές,αναγκάζουν τα πλοία να ακολουθήσουν εναλλακτικά δρομολόγια.Τώρα,όσον αφορά στους τύπους των ατυχημάτων διαπιστώθηκε πως τα ατυχήματα που οφείλονται σε αστοχία της γάστρας ή μηχανική βλάβη καταλαμβάνουν το 40% επί του συνόλου των ατυχημάτων,γεγονός που αμέσως γεννά ερωτήματα για την ποιότητα κατασκευής των συγκεκριμένων πλοίων,της ποιότητας του μηχανολογικού εξοπλισμού που διαθέτουν αλλά την τήρηση των κανόνων που διέπουν τις διαδικασίες συντήρησης.Θα είχε εξαιρετικό ενδιαφέρον να δούμε τη μεταβολή του αριθμού αυτών των ατυχημάτων τα επόμενα χρόνια,αν αυστηρότεροι κανονισμοί και μεγαλύτερες ποινές σε περίπτωση μη τήρησης τους,προταθούν και τεθούν σε ισχύ.Τα ατυχήματα που ακολουθούν και καταλαμβάνουν αθροιστικά επίσης το 40% περίπου είναι αυτά των κατηγοριών Collision και Wrecked/Stranded,δηλαδή ατυχήματα που αναφέρονται σε σύγκρουση ή σε προσάραξη.Η μελέτη αυτών ατυχημάτων αν συνδυαστεί με τις πιο συχνές περιοχές εμφάνισής τους δεν οδηγεί σε ξεκάθαρα συμπεράσματα καθώς δεν υπάρχει κάποια γεωγραφική ζώνη που να συγκεντρώνει τη μεγάλη πλειοψηφία.Αυτό αναδεικνύει ότι ίσως και να υπάρχουν άλλοι λόγοι για τους υψηλούς αριθμούς αυτών των ατυχημάτων.Η φύση αυτών των ατυχημάτων είναι τέτοια που η παράμετρος του ελέγχου της πορείας του πλοίου είναι κύριο αντικείμενο προς εξέταση.Πιθανή έλλειψη σωστής επικοινωνίας στικ κατάστρωμα ή και μειωμένη ικανότητα του πλοίαρχου να είναι η αιτία πολλών εκ των ατυχημάτων,χωρίς αυτό να μπορεί να επαληθευτεί.Σεκάθε περίπτωση,αυστηρότερα κριτήρια στην επιλογή του πληρώματος και πληρέστερη εκπαίδευσης τους θα μπορούσε να αποτελέσει κατασταλακτικό μέτρο.

Εν συνεχεία,υπολογίστηκαν οι συχνότητες ατυχημάτων και ειδικότερα συχνότητες ατυχημάτων που οδήγησαν σε ολική απώλεια (total loss) του πλοίου και συχνότητες ατυχημάτων που οδήγησαν σε ανθρώπινες απώλειες (fatalities).Προέκυψε πως η μέση συχνότητα ατυχημάτων ήταν  $2,34 \cdot 10^{-2}$ .Ενδιαφέρον προκαλεί η υψηλή τιμή της συχνότητας

ατυχημάτων για την κατηγορία πλοίων με  $GT > 20000$ , δεδομένου ότι ο συνολικός αριθμός των ατυχημάτων βρέθηκε αρκετά μικρός. Το αποτέλεσμα αυτό εξηγείται από το μικρό ποσοστό που καταλαμβάνουν τα συγκεκριμένα πλοία επί του συνολικού υπό εξέταση στόλου, δηλαδή ο αρκετά μικρός αριθμός των πλοίων•έτη αυξάνει την τιμή της μέσης συχνότητας. Για τα ατυχήματα που οδήγησαν σε ολική απώλεια του πλοίου η μέση συχνότητα εμφάνισης είναι  $1,72 \cdot 10^{-3}$ . Σημαντικό στοιχείο που πρέπει να τονιστεί είναι ότι η αντίστοιχη συχνότητα για τα μικρά πλοία, δηλαδή αυτά με  $499 < GT \leq 1000$  υπολογίστηκε  $2,46 \cdot 10^{-3}$ , μεγαλύτερη δηλαδή του γενικού μέσου όρου. Αυτό αφενός εξηγείται από τον πολύ μικρό αριθμό των shipyears που οδηγούν σε μεγαλύτερες τιμές συχνότητας, αφετέρου ίσως καταδεικνύει το γεγονός πως τα μικρά πλοία έλκουν πιο σοβαρά ατυχήματα σε σχέση με αυτά των υπολοίπων κατηγοριών και άρα πρέπει να δοθεί περαιτέρω προσοχή σε αυτά. Το παραπάνω έρχεται να συμπληρωθεί από το γεγονός πως για την κατηγορία πλοίων με  $GT > 20000$  δε βρέθηκε καμία περίπτωση total loss. Για τα ατυχήματα με ανθρώπινες απώλειες (νεκροί και αγνοούμενοι), η μέση συχνότητας εμφάνισης ήταν  $5,06 \cdot 10^{-3}$ . Η υψηλότερη τιμή για τα πλοία της μικρής κατηγορίας επιβεβαιώνει τα παραπάνω. Το σύνολο των αποτελεσμάτων αξιολογήθηκε και σε σύγκριση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα προγενέστερης μελέτης του IACS. Τα αποτελέσματα ήταν εν γένει παραπλήσια και μικρές διαφορές δικαιολογούνται ως εξής:

1<sup>ov</sup>) τα πλοία•έτη της διπλωματικής εργασίας είναι αρκετά περισσότερα από αυτά της μελέτης, αφού περιλαμβάνονται πλοία όλων των κλάσεων.

2<sup>ov</sup>) ως συνέπεια του μεγαλύτερου στόλου προς εξέταση είναι φυσιολογικό ο αριθμός των ατυχημάτων να είναι αυξημένος με την υπόθεση πως η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε έχει την ίδια πληρότητα και εγκυρότητα με τις πηγές πληροφοριών που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα του IACS.

Από τα στατιστικά τέστ που εφαρμόστηκαν, διαπιστώθηκε πως υπάρχει στατιστική διαφορά τόσο ως προς τις κατηγορίες μεγέθους, όσο και ως προς το έτος του ατυχήματος. Σημειώνεται σε αυτό το σημείο ότι η μεσαία κατηγορία μεγέθους όπου ανήκουν πλοία με  $100 < GT \leq 20000$ , συγκεντρώνει τη μεγάλη πλειοψηφία των πλοίων και τα αποτελέσματα αυτής είναι αντιπροσωπευτικά αυτών του συνόλου. Καταδεικνύεται επομένως και πάλι η έλξη των μικρών σε μέγεθος πλοίων σε ατυχήματα.

Η διαδικασία παραγωγής σεναρίων οδήγησε σε ένα δείγμα 1000 σεναρίων τα οποία στη συνέχεια ταξινομήθηκαν με κριτήριο την επικινδυνότητά τους, δηλαδή το μέγεθος των συνεπειών τους. Επεξεργάζοντας το σύνολο των σεναρίων, υπολογίστηκε πως 60% των σεναρίων αφορά ατυχήματα με καιρικές συνθήκες κατηγορίας 3, δηλαδή Hurricane. Ακόμη, το 90% των ατυχημάτων έχει ως συνέπεια κάτω από 10 fatalities. Ο μέσος όρος της ηλικίας των πλοίων ήταν 12 έτη και η αντίστοιχη τιμή για το μέγεθος του πλοίου ήταν 3400 κόροι.

Ως αποτέλεσμα της κατάταξης των σεναρίων προέκυψε ότι δεν υπήρξε ατύχημα κάτω από καλές καιρικές συνθήκες (Good), ενώ τα ατυχήματα που φαίνεται να είναι αυτά που προκαλούν τις σοβαρότερες συνέπειες είναι αυτά των κατηγοριών Foundered και Wrecked-Stranded. Τα σφάλματα ήταν της τάξεως του 25% ενώ οι περισσότερες παράμετροι με κυριότερη αυτή των καιρικών συνθηκών και πιθανή εξαίρεση αυτή της ισχύος του πλοίου εκφρασμένη με το MCR, εμφανίζονται να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαδικασία κατάταξης.

Τέλος, είναι αναγκαίο να επισημανθεί η επιλογή εναλλακτικής πορείας σε ορισμένες επιλογές που έγιναν με σκοπό να γίνει περαιτέρω αξιολόγηση των αποτελεσμάτων εάν γίνει σύγκριση με νέα που θα προκύψουν.

Αρχικά, θα μπορούσε να γίνει επιλογή κάποιας συγκεκριμένης κλάσης πλοίων προς μελέτη. Ο στόλος υπό μελέτη θα ήταν σαφώς μικρότερος και πιθανώς αυτό να οδηγούσε σε αποτελέσματα με μικρότερη αβεβαιότητα. Επιπλέον, όσον αφορά στην επιλογή των κατανομών των παραμέτρων θα μπορούσε να γίνει με χρήση διαφορετικού κριτηρίου, π.χ του

Anderson-Darling. Πιο συγκεκριμένα, για την παράμετρο των συνέπειων, θα μπορούσε να θεωρηθεί ως διακριτή και όχι ως συνεχής όπως και θεωρήθηκε στην εργασία.

Στη συνέχεια, μια διαφορετική δειγματοληπτική μέθοδος θα οδηγούσε σε διαφορετικά αποτελέσματα. Σε μια τέτοια προσπάθεια θα είχε εξαιρετικό ενδιαφέρον η σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Τέλος, όσον αφορά στην κατάταξη των σεναρίων, μια κατάταξη με διαφορετικό κριτήριο ή η δημιουργία κλάσεων των παραμέτρων (π.χ για το GT κλάση 0 αν είναι  $\leq 1000$  και κλάση 1 αν είναι  $> 1000$ ), ενδεχομένως να οδηγούσε σε ένα δέντρο όπου οι κλάδοι και τα φύλλα θα ήταν περισσότερο σαφή, ομαδοποιώντας πληρέστερα το σύνολο των σεναρίων.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε πως ο στόχος της διπλωματικής εργασίας, που ήταν μελέτη χαρακτηριστικών παραμέτρων για την αναγνώριση μοτίβων στην περίπτωση των ναυτικών ατυχημάτων πλοίων τύπου Γ/Φ, οδήγησε σε αναγνώριση καταστάσεων-ατυχημάτων όπου οι παράμετροι λαμβάνουν συγκεκριμένες τιμές και προκαλούν συγκεκριμένες συνέπειες. Στη λογική αυτή περαιτέρω έρευνα είναι ευπρόσδεκτη προς επιβεβαίωση και περαιτέρω αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anna Matala, 'Sample size requirements for Monte Carlo-simulations using Latin Hypercube Sampling', Helsinki University of Technology, March 2008
- Arben Mullai, Ulf Paullson, 'A grounded theory model for analysis of marine accidents', Lund University, Science Direct, March 2011
- Boutsikas M.V, Σημειώσεις Μαθήματος 'Στατιστικά Προγράμματα', Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Αθήνα 2004
- De Andres, J. , 'Statistical Techniques vs SEE5 Algorithm. An Application to a Small Business Environment', International Journal of Digital Accounting Research, 2001
- Eleftheria Eliopoulou, Apostolos Papanikolaou, 'Casualty Analysis of large Tankers', Journal of Marine Science and Technology, June 2007
- Guian Qian, Markus Niffenegger, 'Probabilistic fracture assessment of piping systems based on FINTEF FFS procedure', Science Direct, January 2011
- IACS FSA Study, General Cargo Safety, MSC87/Inf 3.
- J.C Elton, F.J Davis, 'Latin Hypercube Sampling and the propagation of uncertainty in analyses of complex systems', Science Direct, February 2003
- J.Jia, H.Yue, T.Liu, H.Wang, 'Global sensitivity analysis of cell signaling transduction networks based on Latin Hypercube sampling method', Bioinformatics and Biomedical Engineering, 2007
- J.S Paik, D.K Kim, 'A New Methodology for Assessing the Safety of Damaged Ships', International Journal of Maritime Engineering
- Jacquet-Lagrange E., Siskos Y. (1982), "Assesing a set of additive utility functions for multicriteria decision making: the UTA method", European Journal of Operational Research 10, 151-164
- Korhonen P., Moskowitz H., Wallenius J. (1992), "Multiple Criteria Decision Support-A Review", European Journal of Operational Research 63, 361-375
- Landau D., Binder K., 'A guide to Monte Carlo Simulations in Statistical Physics', 2000
- Martin Pilch, Timothy G. Trucano, Jon C. Helton, 'Ideas underlying the Quantification of Margins and Uncertainties', Science Direct, January 2011
- Mckay M., Beckman R., Conover W., 'A comparison of three methods for selecting values of Input Variables in the analysis of output from a computer code', Technometrics, Vol.21, No.2, May 1979
- Mohamed Ahmed, Helai Huang, Mohamed Abdel-Aty, Bernardo Guevara, 'Exploring a Bayesian hierarchical approach for developing safety performance functions on a mountainous freeway', Science Direct, March 2011
- Nikos Themelis, Kostas Spyrou, 'Probabilistic Framework for Safety Onboard Fire Safety', contribution of NTUA to task 'The Methodology for the probabilistic generation of HRR curves', July 2010
- Paoanikolaou P., Eliopoulou E., Alisafaki A. et al, 'Critical review of Aframax tanker incidents', The Third International ENSUS Conference, Newcastle 2005

- Papanikolaou P.,Eliopoulou E.,Mikelis N.et al, ‘Casualty analysis of tankers’,RINA Learning from Marine Incidents III,London 2006
- Peter Burgherr, ‘In-depth analysis of accidental oil spills from tankers in the context of global spill trends from all sources’,Journal of Hazardous Materials,July 2006
- Piero Baraldi,Enrico Zio, ‘A comparison between probabilistic and Dempster-Shafer theory approaches to model uncertainty analysis in the performance assessment of radioactive waste repositories’,Risk Analysis,Vol.30,No.7,2010
- Qi Ao, ‘Uncertainty Analysis in Monte Carlo Criticality Calculations’,February 2011
- Quinlan J.R. (1993), "C4.5: Programs for machine learning", Morgan Kaufmann Publishers, USA
- Quinlan, J.R. (1986), "Induction of decision trees. Machine Learning"
- R.D’Agostino,M.A Stephens, ‘Goodness-of-Fit Techniques’,Marcel Dekker,Inc.,New York 1986
- R.L. Iman,J.C Helton, ‘An investigation of uncertainty and sensitivity analysis techniques for computer models’,Risk Analysis,Vol.8,No.1,1988
- Ross D.Collins,Kenneth G.Crowther,‘Systems-based modeling of generation variability under alternate geographic configurations of photovoltaic (PV) installations in Virginia,Science Direct,July 2011
- Sammy Zahran,Jeffrey G.Snodgrass,Lori Peek,Stephan Weiler, ‘Maternal Hurricane Exposure and Fetal Distress Risk’,Risk Analysis,Vol.30,No.10,2010
- Samouilides M.S,Ventikos N.P,Gemelos I.C, ‘Survey on grounding accidents:statistical analysis and risk assessment’,Ships and Offshores Structures,Vol.4,No.1,pp. 55-68,2009
- Solomon Tesfamariam,Rehan Sadiq,Homayoun Najjaran, ‘Decision Making Under Uncertainty-An example for Seismic Risk Management’,Risk Analysis,Vol.30, No.1, 2010
- Terje Aven, ‘Interpretations of alternative representations in a reliability and risk analysis context’,Science Direct,November 2010
- Terje Aven, ‘On some recent definitions and analysis frameworks for risk,vulnerability and resilience’, Risk Analysis,Vol.31,No.4,2011
- Veach,E. , ‘Robust Monte Carlo methods for light transport simulation’,1997
- ΠΕΤΡΟΣ Κ.ΚΙΟΧΟΣ,‘ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ’,Εκδόσεις INTERBOOKS,Αθήνα 1993

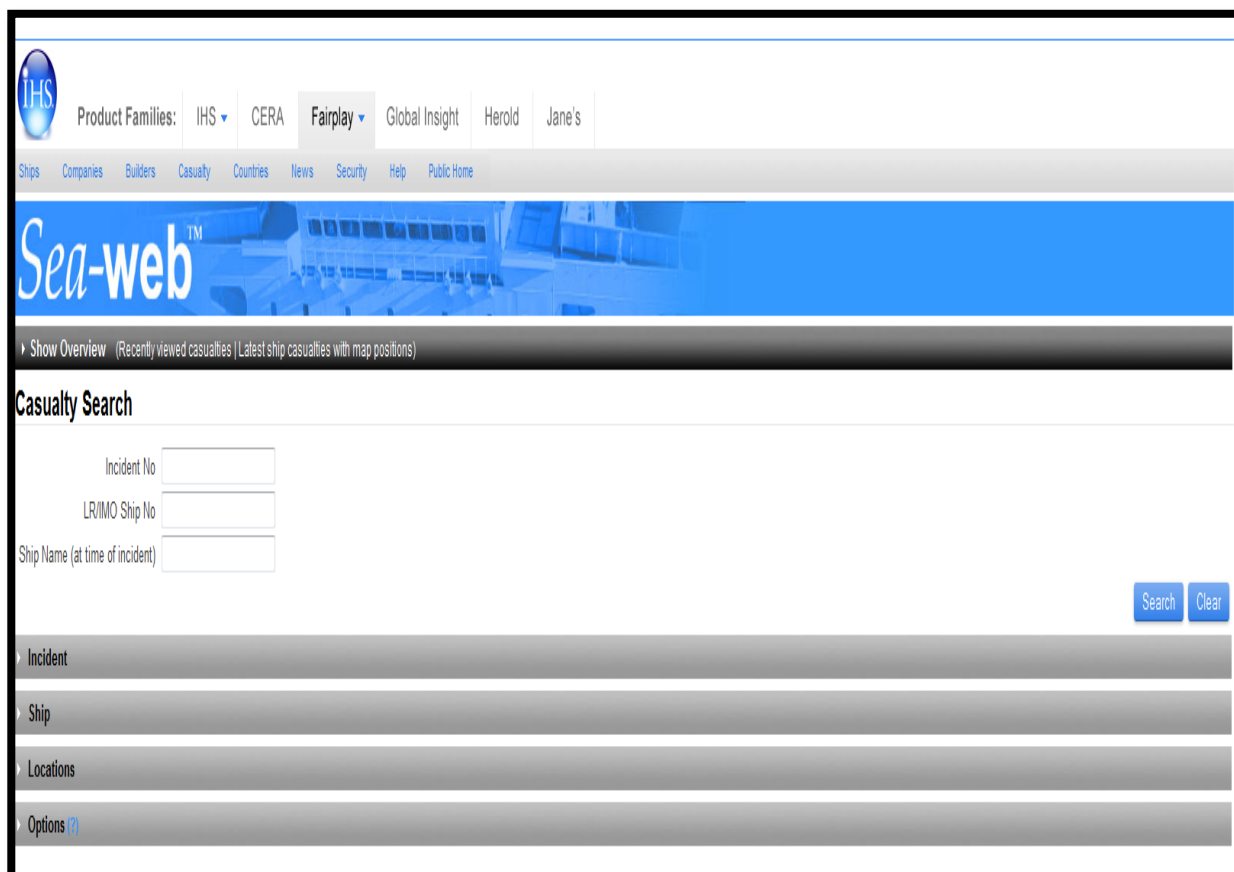
## ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

- [www.Sea-Web.com](http://www.Sea-Web.com)
- [www.clarksons.com](http://www.clarksons.com)
- [www.equasis.com](http://www.equasis.com)
- [www.emsa.europa.eu](http://www.emsa.europa.eu)

- [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- [www.iumi.com](http://www.iumi.com)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α:Η βάση δεδομένων της Sea-Web

Στο παράρτημα Α δίνεται μια εικόνα της βάσης δεδομένων της Sea-Web από όπου αντλήθηκαν τα δεδομένα των ατυχημάτων για τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε. Το αρχικό παράθυρο παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



The screenshot shows the Sea-Web website interface. At the top, there is a navigation bar with the IHS logo and several menu items: Product Families (IHS, CERA, Fairplay, Global Insight, Herold, Jane's), Ships, Companies, Builders, Casualty, Countries, News, Security, Help, and Public Home. Below this is a blue banner with the 'Sea-web' logo. Underneath the banner, there is a link to 'Show Overview' with subtext '(Recently viewed casualties | Latest ship casualties with map positions)'. The main section is titled 'Casualty Search' and contains three input fields: 'Incident No', 'LR/IMO Ship No', and 'Ship Name (at time of incident)'. To the right of these fields are 'Search' and 'Clear' buttons. Below the search fields are four expandable menu items: 'Incident', 'Ship', 'Locations', and 'Options (?)'.

Εικόνα Α.1: Αρχικό μενού της βάσης Sea-Web

Στο παραπάνω μενού υπάρχει σωρεία επιλογών. Μπορεί να επιλέξει κανείς αναζήτηση πλοίων με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά κάτω από το μενού Ships ή αναζήτηση εταιρειών, κατασκευαστών και άλλων κάτω από τα αντίστοιχα μενού Companies, Builders etc. Η διπλωματική εργασία έχει ως θέμα τα ναυτικά ατυχήματα και για την αναζήτηση επιλέχθηκε το μενού Casualty, οι επιλογές του οποίου απεικονίζονται στην εικόνα Α.1. Υπάρχει η δυνατότητα μιας μεμονωμένης αναζήτησης όταν είναι γνωστό το όνομα του πλοίου τη στιγμή του ατυχήματος (πεδίο 'Ship Name') ή ο αριθμός καταχώρησης του ατυχήματος (πεδίο 'Incident No') ή ο αριθμός IMO του πλοίου (πεδίο 'IMO Ship No').

Για αναζήτηση ομάδων ατυχημάτων υπάρχουν οι εξής 4 άξονες επιλογών:

- 1<sup>ov</sup>) Στοιχεία για τα ατυχήματα.
- 2<sup>ov</sup>) Στοιχεία για τα πλοία.
- 3<sup>ov</sup>) Στοιχεία για την τοποθεσία των ατυχημάτων.
- 4<sup>ov</sup>) Επιλογές εμφάνισης αποτελεσμάτων.

The screenshot shows a web form titled 'Incident'. It is divided into two main sections: 'Incident Severity' and 'Conditions & Actions'.  
 In the 'Incident Severity' section, there are input fields for 'Casualty Date (yyyymmdd)' with values '19950101' and '20103112', 'Number Killed', 'Number Missing', and a dropdown for 'Total Loss or Disposal' set to '(None selected)'. There is also a checked checkbox for 'Severe'.  
 In the 'Conditions & Actions' section, there are dropdown menus for 'Pollution' (None selected), 'Casualty Type' (None selected), 'External Item' (None selected), and 'Weather' (None selected). There is also a text input field for 'Cargo'.

**Εικόνα Α.2:**Μενού επιλογής για τα ατυχήματα.

Το μενού των ατυχημάτων διαχωρίζεται σε 2 υποκατηγορίες. Η πρώτη αφορά στη σοβαρότητα του ατυχήματος ενώ η δεύτερη αφορά στις συνθήκες στις οποίες έγινε.

Συγκεντρωτικά, τα πεδία προς συμπλήρωση είναι τα παρακάτω:

- Ημερομηνία ατυχήματος.  
Εδώ ορίζεται ο χρονικός ορίζοντας της αναζήτησης.
- Αριθμός θανάτων.
- Αριθμός αγνοουμένων.
- Ολική απώλεια ή εκροή.
- Χαρακτηρισμός του ατυχήματος ως ‘σοβαρό’ ή όχι.
- Ύπαρξη ρύπανσης ή όχι.
- Τύπος ατυχήματος.
- Συμβολή εξωτερικού αντικειμένου  
Στο πεδίο αυτό δηλώνεται κατά πόσον ένα επιπλέον ή κάποιο άλλο σταθερό αντικείμενο συμμετέχει στο ατύχημα.
- Οι καιρικές συνθήκες τη στιγμή του ατυχήματος.
- Το είδος του φορτίου.

Στα πλαίσια της εργασίας όπως έχει ήδη αναφερθεί αναζητήθηκαν ατυχήματα ‘σοβαρού’ χαρακτήρα για την περίοδο 01/01/1995-31/12/2010. Τα υπόλοιπα πεδία παρέμειναν κενά.

The screenshot shows a web form titled 'Ship'. The 'Ship Details' section features a list of ship types under 'Available' and a 'Selected' list. The 'Available' list includes: 'DRY CARGO/PASSENGER', 'General Cargo', 'General Cargo Ship', 'General Cargo Ship (with Ro-Ro facility)', 'General Cargo Ship, Self-discharging', 'Open Hatch Cargo Ship', 'General Cargo/Tanker (Container/oil/bulk - COB ship)', 'General Cargo/Tanker', and 'General Cargo Ship'. The 'Selected' list currently contains 'General Cargo Ship'. Below the lists are input fields for 'Date of Build (yyyymm)' (198501 - 201001), 'DWT', 'GT' (500), 'Flag' (None selected), and 'Class' (None selected).

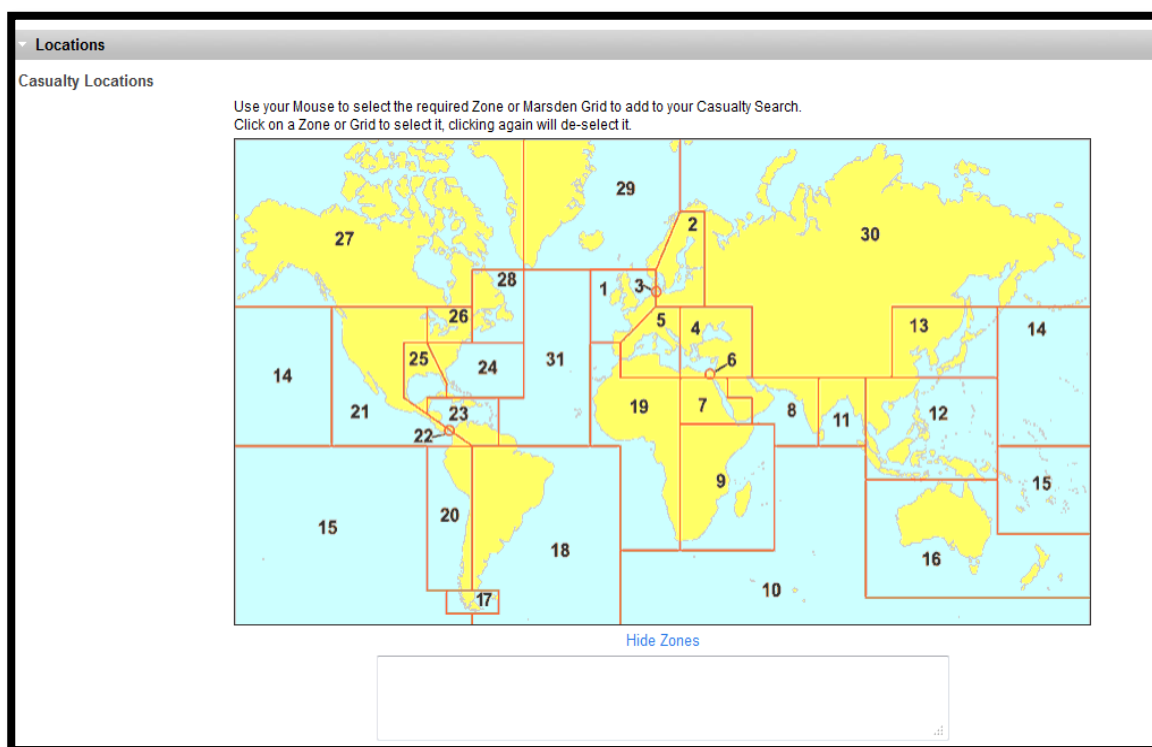
**Εικόνα Α.3:**Μενού επιλογής για τα πλοία.

Στο μενού επιλογών για τα πλοία των οποίων τα ατυχήματα επιθυμούμε να αναζητήσουμε υπάρχουν τα παρακάτω πεδία προς πιθανή συμπλήρωση:



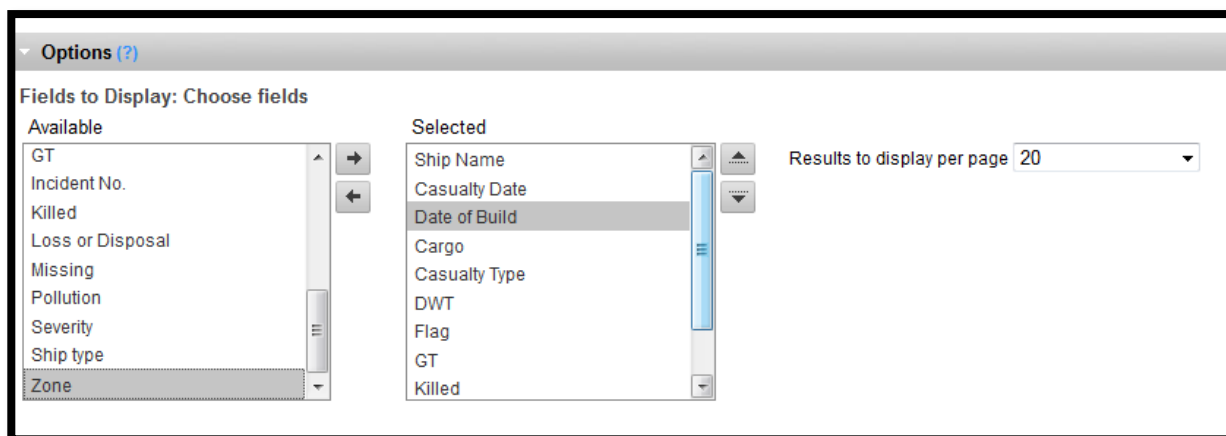
- Selected Type of Ship  
Εδώ ορίζεται ο τύπος πλοίου του οποίου τα ατυχήματα θέλουμε να αναζητήσουμε.
- Date of Build  
Εδώ ορίζεται το χρονικό εύρος της κατασκευής των πλοίων, δηλαδή πότε θέλουμε να έχουν κατασκευαστεί τα πλοία μας.
- DWT  
Εδώ ορίζεται το εύρος της μεταφορικής ικανότητας των πλοίων σε tons.
- GT  
Εδώ ορίζεται το εύρος του μεγέθους των πλοίων σε κόρους.
- Flag  
Εδώ ορίζεται η σημαία των πλοίων
- Class  
Εδώ ορίζεται η κλάση των πλοίων στην οποία ανήκουν.

Στην περίπτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε αναζήτηση για ατυχήματα General Cargo Ships με  $GT \geq 500$  και κατασκευής 01/01/1985-01/01/2012. Τα υπόλοιπα πεδία παρέμειναν ασυμπλήρωτα.



Εικόνα Α.4: Μενού επιλογής για την τοποθεσία των ατυχημάτων.

Στην εικόνα Α.4 εμφανίζεται ο παγκόσμιος χάρτης χωρισμένος σε γεωγραφικές ζώνες με τη δυνατότητα επιλογής μιας ή περισσότερων εξ αυτών όταν επιθυμούμε να αναζητήσουμε ατυχήματα σε συγκεκριμένες περιοχές. Στα πλαίσια της εργασίας δεν επιλέχθηκε κάποια συγκεκριμένη γεωγραφική ζώνη διότι η αναζήτηση είχε παγκόσμιο χαρακτήρα.



**Εικόνα Α.5:**Μενού επιλογής μεγεθών προς προβολή στα αποτελέσματα της αναζήτησης.

Στο μενού της εικόνας Α.5 γίνεται η επιλογή των μεγεθών που θέλουμε να προβάλλονται στη λίστα των αποτελεσμάτων της αναζήτησης.Είναι δυνατή η επιλογή μέχρι 12 μεγεθών από το σύνολο των εναλλακτικών.Ακόμη επιλέγεται ο αριθμός των αποτελεσμάτων που θέλουμε να προβάλλεται σε κάθε σελίδα.

Όταν πλέον θα έχουν επιλεγεί όλες οι παράμετροι της αναζήτησης τότε τα αποτελέσμα αυτής θα έχουν τη μορφή της παρακάτω εικόνας.

LR/IMO Ship No. &	Ship Name	Casualty Date	Date of Build	Cargo	Casualty Type	DWT	Flag	GT	Killed	Missing	Zone
9130200,0004510	A. B. BILBAO	2001-10-02	1997-06	Ferrosilicone	Fire/Explosion	4,212	Antigua & Barbuda	2844	0		Br.Isles, N.Sea,E.Chnl,...
9125683,9701101	A. B. LIVERPOOL	1997-01-22	1996-12	Chipboard	Hull/Mchy, Damage	4,224	Germany	2844	0		Br.Isles, N.Sea,E.Chnl,...
9312676,9822627	AACHEN	2009-03-16	2004-11	5261 Tons Steel Coil	Hull/Mchy, Damage	5,780	Antigua & Barbuda	3870	0		E.Mediterranean & Bla...
9044748,0002190	AALSMEEGRACHT	2000-07-29	1992-11		Contact	12,150	Netherlands	7949	0		Great Lakes
9247106,9817474	AASHEIM	2007-08-30	2001-08		Hull/Mchy, Damage	5,826	Norway (NIS)	4112	0		Br.Isles, N.Sea,E.Chnl,...
9247106,9822322	AASHEIM	2009-02-11	2001-08		Hull/Mchy, Damage	5,826	Norway (NIS)	4112	0		Br.Isles, N.Sea,E.Chnl,...
8500898,0005012	AASVIK	2001-12-28	1986-01		Hull/Mchy, Damage	4,319	Norway (NIS)	3088	0		Br.Isles, N.Sea,E.Chnl,...
8711277,9822967	ABAKAN	2009-04-21	1990-12		Wrecked/Stranded	7,365	Russia	7095	0		China, Japan & Korea
8511938,9827057	ADA	2010-06-22	1985-11	1597 Tonnes Wheat	Wrecked/Stranded	1,685	Moldova	1163	0		E.Mediterranean & Bla...
9432115,9826173	ADAM ASNYK	2010-03-19	2009-11		Hull/Mchy, Damage	30,000	Cyprus	24167	0		Suez Canal
8802466,9818520	ADATEPE S	2008-01-11	1991-01	2,989 Tons Scrap	Wrecked/Stranded	2,059	Malta	2331	0		E.Mediterranean & Bla...
9139323,9818427	ADDI L	2008-01-03	1995-12		Hull/Mchy, Damage	4,557	Gibraltar	2876	0		Br.Isles, N.Sea,E.Chnl,...
9139323,9821109	ADDI L	2008-10-14	1995-12		Wrecked/Stranded	4,557	Gibraltar	2876	0		Baltic
8814342,9827250	AFIYA	2007-03-18	1990-12		Contact	5,177	St Kitts & Nevis	4371	0		Gulf Of Mexico
9197430,9812047	AGENA	2005-05-19	2001-01		Hull/Mchy, Damage	3,414	Antigua & Barbuda	2528	0		E.Mediterranean & Bla...
9197430,9812254	AGENA	2005-06-23	2001-01		Hull/Mchy, Damage	3,414	Antigua & Barbuda	2528	0		W.Mediterranean
8514825,0005456	AI GE	2002-03-31	1986-02	2,858 T. Scrap Iron	Collision	4,608	Belze	2847	0		China, Japan & Korea

**Εικόνα Α.5:**Λίστα αποτελεσμάτων μιας αναζήτησης μέσω της βάσης δεδομένων Sea-Web.

Στα αποτελέσματα μιας αναζήτησης εμφανίζονται ανά στήλες τα μεγέθη που επιλέχθηκαν για τις περιπτώσεις ατυχημάτων που βρέθηκαν και ικανοποιούν τα κριτήρια που εισάχθηκαν.Είναι δυνατή η εξαγωγή των δεδομένων σε αρχείο excel για την περαιτέρω επεξεργασία τους.Ακόμη για αναζήτηση επιπλέον δεδομένων για ένα ατύχημα που δεν ήταν δυνατό να αποτελέσουν στήλη της λίστας,επιλέγουμε τον αριθμό IMO του πλοίου που θέλουμε.Το παράθυρο που ανοίγει έχει την παρακάτω μορφή.

**Casualty Overview**

LR/IMO Ship No.	9130200	Incident No.	0004510
Incident Date	2001-10-02	Name at Time of Incident	A. B. BILBAO
Casualty Type	Fire/Explosion	Incident Type	Casualty

**SHIP DETAILS AT TIME OF INCIDENT**

Ship Name	A. B. BILBAO	Flag	Antigua & Barbuda
Ship Type	General Cargo	Year of Build	1997
GT	2844	DWT	4212
Classification	Germanischer Lloyd	Ship Status	In Service/Commission
Owner	Saar Bilbao		

**INCIDENT & CARGO**

HAD EXPLOSION IN HOLD IN THE SOUTHERN NORTH SEA ON 2/10/01. ANCHORED IN MARGATE ROADS. ESCORTED BY TUG TO RIVER MEDWAY 4/10/01 AND MOORED AT KETHOLE BUOYS. REPAIRS EFFECTED. RESUMED VOYAGE 9/10/01. THE EXPLOSION CAUSED DISTORTION OF A HATCH COVER. THE CREW HAVE MADE THE HATCH WATERTIGHT BY USING PLASTIC SHEETING.

Incident Type	Casualty	Casualty Type	Fire/Explosion	Incident Severity	Serious
Lives Lost	No	Missing	No		
Detail Status	ON VOYAGE	Cargo Status	Loaded	Cargo	Ferrosilicone
Dangerous Cargo	Unknown	Pollution Occurred	No	Pollution Details	

**VOYAGE DETAILS**

Voyage From	Norway	Voyage To	Spain
Removal from Scene	Diverted From Voyage	Assistance Given	Yes

**Εικόνα Α.6(α):** Λίστα δεδομένων ενός ατυχήματος

**EVENT DETAILS**

Sequence	01	Date	2001-10-02
Initial Event	Fire/Explosion	Event Action	Explosion
Event Component	Hold(S) Unk/Unspec.	Position	Inner/Inboard
External		Weather	Unknown/Not Reported

Sequence	02	Date	2001-10-02
Initial Event	Hull/Mchy/Equip./Damage/Failure	Event Action	Damage(D)
Event Component	Hatch Covers Unk/Unspecified	Position	Upper
External		Weather	Unknown/Not Reported

**OTHER SHIPS INVOLVED**

**CASUALTY LOCATION**

Marsden Grid Ref	216	Location Type	At Sea	Port	
Zone	Br,Isles, N.Sea,E.Chnl,Biscay	Position	51 24 00 N	<a href="#">Click here to see casualty displayed in Bing Maps</a>	
			001 24 00 E		

**DISPOSAL**

Not a Disposal, See Other Sections

**Εικόνα Α.6(β):** Λίστα δεδομένων ενός ατυχήματος

Στις εικόνες Α.6(α) και Α.6(β) παρουσιάζεται το σύνολο των πληροφοριών για το ατύχημα ενός πλοίου. Οι πληροφορίες αυτές διαχωρίζονται ως εξής:

- Ship Details
- Incident Details
- Voyage Details
- Event Details
- Other Ships Involved
- Casualty Location
- Disposal

Στην πρώτη κατηγορία δίνονται οι παρακάτω πληροφορίες:

- Ship name

- Ship type
- GT
- Owner
- Classification
- Flag
- Year of build
- DWT
- Ship Status (αν δηλαδή το πλοίο είναι παροπλισμένο ή εν ενεργεία)

Στη δεύτερη κατηγορία πληροφορούμαστε για τα παρακάτω:

- Incident type (αν ήταν ατύχημα ή ολική απώλεια)
- Lives lost
- Detail Status (σε τι κατάσταση λειτουργίας ήταν το πλοίο τη στιγμή του ατυχήματος, π.χ στο λιμάνι,σε ταξίδι,σε κατάσταση ελιγμών ή κάτι άλλο.
- Dangerous cargo
- Casualty type
- Missing
- Cargo status
- Pollution occurred
- Incident severity
- Cargo
- Pollution details
- Ακόμη γίνεται μια μικρή περιγραφή του ατυχήματος,των αιτιών και των ενεργειών που ακολούθησαν.

Στην τρίτη κατηγορία περιέχονται πληροφορίες για τα εξής:

- Voyage from
- Voyage to
- Removal from scene
- Assistance given

Στην τέταρτη κατηγορία περιλαμβάνονται πληροφορίες για το συμβάν και συγκεκριμένα η σειρά των γεγονότων που οδήγησαν στο ατύχημα.Για παράδειγμα:

<i>Sequence</i>	<i>01</i>
<i>Date</i>	<i>2001-10-02</i>
<i>Initial Event</i>	<i>Fire/Explosion</i>
<i>Event action</i>	<i>Explosion</i>
<i>Event Component</i>	<i>Hold(s) Unknown/Unspecified</i>
<i>Position</i>	<i>Inner/Inboard</i>
<i>External</i>	
<i>Weather</i>	<i>Good Weather</i>

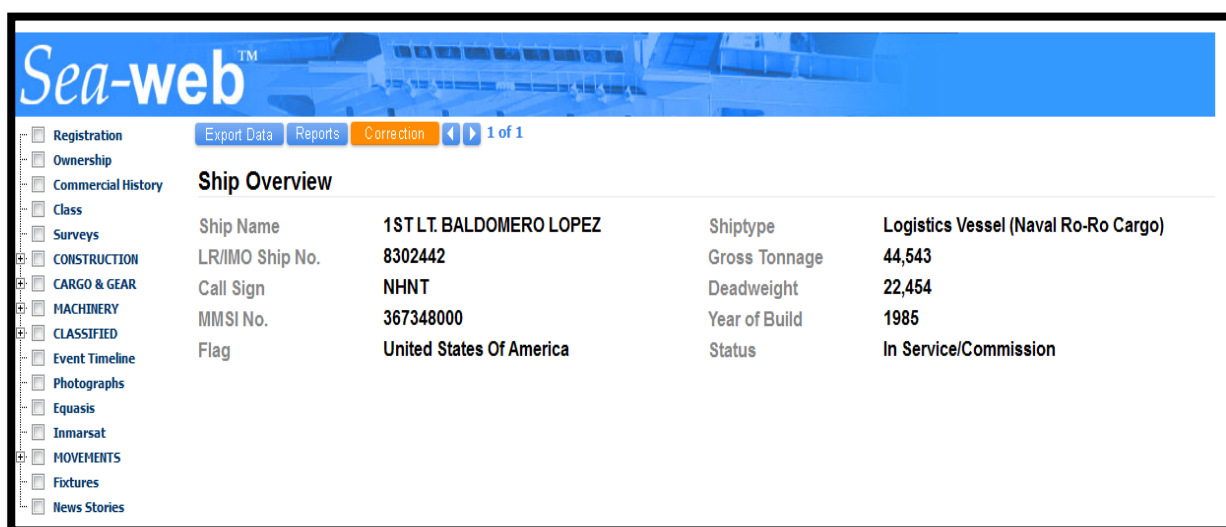
<i>Sequence</i>	<i>02</i>
<i>Date</i>	<i>2001-10-02</i>
<i>Initial Event</i>	<i>Hull/Machinery Equipment Damage/Failure</i>
<i>Event action</i>	<i>Damage</i>
<i>Event Component</i>	<i>Hatch Covers Unknown/Unspecified</i>
<i>Position</i>	<i>Upper</i>
<i>External</i>	
<i>Weather</i>	<i>Good Weather</i>

Στην πέμπτη κατηγορία αναφέρεται η συμμετοχή ή όχι άλλου πλοίου στο ατύχημα.  
Στην έκτη κατηγορία περιέχονται πληροφορίες για τον τόπο του ατυχήματος.  
Συγκεκριμένα αναφέρονται τα παρακάτω:

- Marsdens Grid Reference
- Location type (στη θάλασσα ή αλλού)
- Zone
- Position (γεωγραφικό μήκος και πλάτος)

Τέλος,σε περίπτωση εκροής φορτίου ή καυσίμου αναφέρονται πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος της εκροής.

Σαν συμπλήρωση των πληροφοριών για το ίδιο το πλοίο αν επιλέξουμε εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο με ακόμη πιο αναλυτικές πληροφορίες για το πλοίο.Αυτό παρουσιάζεται στην εικόνα Α.7



The screenshot shows the 'Sea-web' website interface. The main content area is titled 'Ship Overview' and displays the following information:

Ship Name	1ST LT. BALDOMERO LOPEZ	Shiptype	Logistics Vessel (Naval Ro-Ro Cargo)
LR/IMO Ship No.	8302442	Gross Tonnage	44,543
Call Sign	NHNT	Deadweight	22,454
MMSI No.	367348000	Year of Build	1985
Flag	United States Of America	Status	In Service/Commission

Εικόνα Α.7:Επιπλέον πληροφορίες για το πλοίο.

Στις επιπλέον αυτές πληροφορίες περιλαμβάνονται τα εξής:

- Ship Overview (μια γενική εικόνα των χαρακτηριστικών του πλοίου).
- Registration (πληροφορίες για τη σημαία του πλοίου).
- Ownership (πληροφορίες για το καθεστώς ιδιοκτησίας του πλοίου).
- Commercial History (η ιστορία του πλοίου,η αποτύπωση δηλαδή όλων των αλλαγών σε σημαία,κλάση,ιδιοκτησία,τιμή κ.α).
- Class (πληροφορίες για την κλάση του πλοίου).
- Surveys (πληροφορίες για τους ελέγχους που έχει περάσει το πλοίο)
- Construction (πληροφορίες για την κατασκευή του πλοίου.Βασικές διαστάσεις, διάταξη αμπαριών και καταστροφμάτων περιλαμβάνονται σε αυτή τη λίστα).
- Cargo & Gear (πληροφορίες για τους χώρους φορτίου και τα μέσα φορτωεκφόρτωσης).
- Machinery (πληροφορίες για τη μηχανολογική εγκατάσταση του πλοίου)
- Classified πληροφορίες για τα πιστοποιητικά που φέρει το πλοίο).

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα της Στατιστικής Ανάλυσης

Στο Παράρτημα Β παρουσιάζονται τα ακριβή αποτελέσματα της στατιστικής μελέτης που πραγματοποιήθηκε αλλά και μέρος των δεδομένων που βρέθηκαν από τη βάση δεδομένων της Sea-Web.

**Πίνακας Β.1:** Αποτελέσματα για το σύνολο των πλοίων

ΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ					
Έτος	Αριθμός Ατυχημάτων	Μέση Ηλικία Πλοίων	Accident rate per shipyear	Fatality Rate per Shipyear	Total Loss Rate per Shipyear
1995	32	5,56	1,11E-02	2,77E-03	1,04E-03
1996	48	6,52	1,53E-02	2,23E-03	1,59E-03
1997	46	6,52	1,35E-02	5,59E-03	2,65E-03
1998	47	7,22	1,29E-02	4,65E-03	1,64E-03
1999	58	7,66	1,48E-02	2,05E-03	1,53E-03
2000	71	9,13	1,70E-02	0,00E+00	7,20E-04
2001	72	9,11	1,63E-02	2,71E-03	1,58E-03
2002	72	8,33	1,54E-02	8,55E-04	6,42E-04
2003	87	11,26	1,76E-02	8,52E-03	1,83E-03
2004	118	11,07	2,28E-02	8,87E-03	1,54E-03
2005	138	11,41	2,54E-02	4,41E-03	1,84E-03
2006	154	11,18	2,70E-02	1,58E-02	2,11E-03
2007	251	11,88	4,22E-02	4,20E-03	2,18E-03
2008	248	12,68	4,00E-02	4,67E-03	1,29E-03
2009	263	12,51	3,98E-02	4,24E-03	2,27E-03
2010	289	13,76	4,41E-02	9,46E-03	3,05E-03

**Πίνακας Β.2:** Αποτελέσματα για τα πλοία με  $499 < GT \leq 1000$ .

499 < GT ≤ 1000					
Έτος	Αριθμός Ατυχημάτων	Μέση Ηλικία Πλοίων	Accident rate per shipyear	Fatality Rate per Shipyear	Total Loss Rate per Shipyear
1995	4	6,25	9,62E-03	1,20E-02	2,40E-03
1996	3	6	6,61E-03	0,00E+00	4,41E-03
1997	3	9,66667	6,10E-03	8,13E-03	6,10E-03
1998	1	3	1,89E-03	0,00E+00	0,00E+00
1999	5	8,4	8,80E-03	0,00E+00	0,00E+00
2000	3	11,3333	4,95E-03	0,00E+00	0,00E+00
2001	3	11	4,66E-03	4,66E-03	1,55E-03
2002	4	12,5	5,87E-03	0,00E+00	0,00E+00

2003	7	14,57143	9,72E-03	2,08E-02	1,39E-03
2004	5	12,4	6,60E-03	0,00E+00	1,32E-03
2005	6	11,66667	7,54E-03	0,00E+00	2,51E-03
2006	7	11,71429	8,40E-03	9,00E-02	6,00E-03
2007	21	12,2381	2,41E-02	0,00E+00	5,74E-03
2008	11	14	1,21E-02	0,00E+00	2,20E-03
2009	9	15,88889	9,39E-03	0,00E+00	2,09E-03
2010	10	14,5	1,02E-02	0,00E+00	3,07E-03

**Πίνακας Β.3:**Αποτελέσματα για τα πλοία με 1000<GT≤20000.

1000<GT≤2000					
Έτος	Αριθμός Ατυχημάτων	Μέση Ηλικία Πλοίων	Accident rate per shipyear	Fatality Rate per Shipyear	Total Loss Rate per Shipyear
1995	28	5,821	1,19E-02	1,27E-03	8,48E-04
1996	45	6,556	1,75E-02	2,73E-03	1,17E-03
1997	43	6,302	1,55E-02	5,41E-03	2,16E-03
1998	46	7,196	1,54E-02	5,71E-03	2,01E-03
1999	52	7,635	1,63E-02	2,51E-03	1,88E-03
2000	65	9,138	1,92E-02	0,00E+00	8,84E-04
2001	67	8,925	1,86E-02	2,50E-03	1,67E-03
2002	67	8,194	1,76E-02	1,05E-03	7,88E-04
2003	79	11,051	1,97E-02	6,73E-03	1,99E-03
2004	113	11,009	2,68E-02	1,09E-02	1,66E-03
2005	127	11,402	2,87E-02	5,42E-03	1,81E-03
2006	137	11,204	2,96E-02	3,24E-03	1,51E-03
2007	221	11,851	4,56E-02	5,16E-03	1,65E-03
2008	229	12,572	4,54E-02	5,74E-03	1,19E-03
2009	242	12,351	4,49E-02	3,90E-03	2,41E-03
2010	270	13,822	5,08E-02	1,17E-02	3,20E-03

**Πίνακας Β.4:**Αποτελέσματα για τα πλοία με GT>20000.

1000<GT≤2000					
Έτος	Αριθμός Ατυχημάτων	Μέση Ηλικία Πλοίων	Accident rate per shipyear	Fatality Rate per Shipyear	Total Loss Rate per Shipyear
1995	0	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1996	0	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1997	0	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1998	0	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1999	1	5	6,37E-03	0,00E+00	0,00E+00
2000	2	3,5	1,20E-02	0,00E+00	0,00E+00
2001	2	12,5	1,13E-02	0,00E+00	0,00E+00
2002	1	1	5,35E-03	0,00E+00	0,00E+00
2003	1	1	5,08E-03	0,00E+00	0,00E+00
2004	0		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
2005	5	11,2	2,30E-02	0,00E+00	0,00E+00
2006	10	10,4	4,39E-02	0,00E+00	0,00E+00
2007	7	10,429	2,94E-02	0,00E+00	0,00E+00
2008	8	13,875	3,23E-02	0,00E+00	0,00E+00

2009	12	13,25	4,63E-02	2,70E-02	0,00E+00
2010	10	11,3	3,77E-02	0,00E+00	0,00E+00

**Πίνακας Β.5:**Αποτελέσματα για fatalities για το σύνολο των πλοίων.

FATALITIES						
Έτος	Αριθμός Ατυχημάτων	Killed reports	No. of Killed	Missing reports	No. of Missing	Missing and Killed
1995	32	1	3	1	5	8
1996	48	2	4	2	3	7
1997	46	4	6	2	13	19
1998	49	1	5	3	12	17
1999	58	1	2	2	6	8
2000	71	0	0	0	0	0
2001	72	2	9	2	3	12
2002	72	1	1	2	3	4
2003	87	4	14	6	28	42
2004	118	4	37	3	9	46
2005	138	2	2	5	22	24
2006	154	2	43	4	47	90
2007	251	5	15	3	11	26
2008	248	4	22	1	8	30
2009	263	5	7	4	21	28
2010	289	6	12	7	50	62
TOTAL	1992	44	182	47	241	423

**Πίνακας Β.6:**Αποτελέσματα για αγνοούμενους για το σύνολο των πλοίων.

Number of Missing				
Year	499<GT≤1000	1000<GT≤20000	GT>20000	Total
1995	5	0	0	5
1996	0	3	0	3
1997	3	10	0	13
1998	0	12	0	12
1999	0	6	0	6
2000	0	0	0	0
2001	2	1	0	3
2002	0	3	0	3
2003	15	13	0	28
2004	0	9	0	9
2005	0	22	0	22
2006	35	12	0	47
2007	0	11	0	11
2008	0	8	0	8
2009	0	14	7	21
2010	0	50	0	50
Total	60	174	7	241



**Πίνακας Β.7:** Αποτελέσματα για θανόντες για το σύνολο των πλοίων.

Number of Killed				
Year	499<GT≤1000	1000<GT≤20000	GT>20000	Total
1995	0	3	0	3
1996	0	4	0	4
1997	1	5	0	6
1998	0	5	0	5
1999	0	2	0	2
2000	0	0	0	0
2001	1	8	0	9
2002	0	1	0	1
2003	0	14	0	14
2004	0	37	0	37
2005	0	2	0	2
2006	40	3	0	43
2007	0	14	0	14
2008	0	21	0	21
2009	0	7	0	7
2010	0	12	0	16
Total	42	138	0	182

**Πίνακας Β.8(α):** Αποτελέσματα των accident rates για κάθε τύπο ατυχήματος για πλοία με 499<GT≤1000.

499<GT≤1000						
Year	collision	accident rate per shipyear	contact	accident rate per shipyear	fire/explosion	accident rate per shipyear
1995	0	0,00E+00	0	0,00E+00	1	2,40E-03
1996	2	4,41E-03	0	0,00E+00	0	0,00E+00
1997	2	4,07E-03	0	0,00E+00	0	0,00E+00
1998	0	0,00E+00	1	1,89E-03	0	0,00E+00
1999	2	3,52E-03	0	0,00E+00	0	0,00E+00
2000	0	0,00E+00	1	1,65E-03	0	0,00E+00
2001	1	1,55E-03	0	0,00E+00	0	0,00E+00
2002	0	0,00E+00	1	1,47E-03	0	0,00E+00
2003	1	1,39E-03	0	0,00E+00	1	1,39E-03
2004	1	1,32E-03	2	2,64E-03	0	0,00E+00
2005	2	2,51E-03	0	0,00E+00	0	0,00E+00
2006	1	1,20E-03	0	0,00E+00	0	0,00E+00
2007	7	8,04E-03	2	2,30E-03	0	0,00E+00
2008	2	2,20E-03	0	0,00E+00	0	0,00E+00
2009	2	2,09E-03	2	2,09E-03	1	1,04E-03
2010	2	2,05E-03	0	0,00E+00	0	0,00E+00

**Πίνακας Β.8(β):**Αποτελέσματα των accident rates για κάθε τύπο ατυχήματος για πλοία με  $499 < GT \leq 1000$ .

499<GT≤1000						
Year	foundered	accident rate per shipyear	hull/machinery	accident rate per shipyear	wrecked/stranded	accident rate per shipyear
1995	1	2,40E-03	2	4,81E-03	0	0,00E+00
1996	0	0,00E+00	0	0,00E+00	1	2,20E-03
1997	1	2,03E-03	0	0,00E+00	0	0,00E+00
1998	0	0,00E+00	0	0,00E+00	0	0,00E+00
1999	0	0,00E+00	0	0,00E+00	2	3,52E-03
2000	0	0,00E+00	2	3,30E-03	0	0,00E+00
2001	0	0,00E+00	2	3,11E-03	0	0,00E+00
2002	0	0,00E+00	3	4,40E-03	0	0,00E+00
2003	1	1,39E-03	3	4,17E-03	1	1,39E-03
2004	1	1,32E-03	1	1,32E-03	0	0,00E+00
2005	0	0,00E+00	0	0,00E+00	3	3,77E-03
2006	4	4,80E-03	2	2,40E-03	0	0,00E+00
2007	2	2,30E-03	4	4,59E-03	6	6,89E-03
2008	2	2,20E-03	3	3,30E-03	4	4,40E-03
2009	0	0,00E+00	0	0,00E+00	4	4,18E-03
2010	1	1,02E-03	3	3,07E-03	4	4,10E-03

**Πίνακας Β.9(α):**Αποτελέσματα των accident rates για κάθε τύπο ατυχήματος για πλοία με  $1000 < GT \leq 20000$ .

1000<GT≤20000						
Year	collision	accident rate per shipyear	contact	accident rate per shipyear	fire/explosion	accident rate per shipyear
1995	1	4,24E-04	1	4,24E-04	3	1,27E-03
1996	8	3,12E-03	3	1,17E-03	5	1,95E-03
1997	7	2,53E-03	2	7,22E-04	3	1,08E-03
1998	4	1,34E-03	2	6,71E-04	4	1,34E-03
1999	5	1,57E-03	2	6,28E-04	2	6,28E-04
2000	10	2,95E-03	3	8,84E-04	6	1,77E-03
2001	6	1,67E-03	5	1,39E-03	7	1,94E-03
2002	11	2,89E-03	3	7,88E-04	6	1,58E-03
2003	12	2,99E-03	7	1,74E-03	8	1,99E-03
2004	29	6,87E-03	6	1,42E-03	9	2,13E-03
2005	20	4,52E-03	9	2,03E-03	5	1,13E-03
2006	28	6,04E-03	7	1,51E-03	10	2,16E-03
2007	44	9,09E-03	22	4,54E-03	19	3,92E-03
2008	56	1,11E-02	18	3,57E-03	13	2,57E-03
2009	46	8,53E-03	13	2,41E-03	14	2,60E-03
2010	60	1,13E-02	16	3,01E-03	9	1,69E-03

**Πίνακας Β.9(β):**Αποτελέσματα των accident rates για κάθε τύπο ατυχήματος για πλοία με 1000<GT≤20000.

1000<GT≤20000						
Year	foundered	accident rate per shipyear	hull/machinery	accident rate per shipyear	wrecked/stranded	accident rate per shipyear
1995	1	4,24E-04	17	7,21E-03	4	1,70E-03
1996	6	2,34E-03	18	7,02E-03	4	1,56E-03
1997	1	3,61E-04	21	7,58E-03	7	2,53E-03
1998	2	6,71E-04	25	8,39E-03	8	2,69E-03
1999	5	1,57E-03	21	6,59E-03	16	5,02E-03
2000	1	2,95E-04	30	8,84E-03	14	4,13E-03
2001	2	5,56E-04	32	8,89E-03	15	4,17E-03
2002	2	5,25E-04	32	8,41E-03	11	2,89E-03
2003	4	9,97E-04	26	6,48E-03	22	5,48E-03
2004	4	9,48E-04	37	8,77E-03	27	6,40E-03
2005	4	9,03E-04	59	1,33E-02	30	6,78E-03
2006	3	6,47E-04	57	1,23E-02	31	6,69E-03
2007	5	1,03E-03	81	1,67E-02	50	1,03E-02
2008	2	3,96E-04	85	1,68E-02	55	1,09E-02
2009	9	1,67E-03	110	2,04E-02	50	9,27E-03
2010	10	1,88E-03	113	2,13E-02	61	1,15E-02

**Πίνακας Β.10(α):**Αποτελέσματα των accident rates για κάθε τύπο ατυχήματος για πλοία με GT>20000.

GT>20000						
Year	collision	accident rate per shipyear	contact	accident rate per shipyear	fire/explosion	accident rate per shipyear
1995	0	0,00E+00	0	0,00E+00	0	0,00E+00
1996	0	0,00E+00	0	0,00E+00	0	0,00E+00
1997	0	0,00E+00	0	0,00E+00	0	0,00E+00
1998	0	0,00E+00	0	0,00E+00	0	0,00E+00
1999	0	0,00E+00	0	0,00E+00	0	0,00E+00
2000	0	0,00E+00	0	0,00E+00	0	0,00E+00
2001	1	5,65E-03	0	0,00E+00	0	0,00E+00
2002	0	0,00E+00	0	0,00E+00	0	0,00E+00
2003	0	0,00E+00	0	0,00E+00	0	0,00E+00
2004	0	0,00E+00	0	0,00E+00	0	0,00E+00
2005	1	4,61E-03	0	0,00E+00	0	0,00E+00
2006	4	1,75E-02	3	1,60E-02	0	0,00E+00
2007	3	1,26E-02	1	5,08E-03	1	5,08E-03
2008	0	0,00E+00	1	4,83E-03	0	0,00E+00
2009	3	1,16E-02	3	1,38E-02	0	0,00E+00
2010	4	1,51E-02	0	0,00E+00	1	4,39E-03

**Πίνακας Β.10(β):**Αποτελέσματα των accident rates για κάθε τύπο ατυχήματος για πλοία με GT>20000.

GT>2000						
Year	foundered	accident rate per shipyear	hull/machinery	accident rate per shipyear	wrecked/stranded	accident rate per shipyear
1995	0	0,00E+00	0	0,00E+00	0	0,00E+00
1996	0	0,00E+00	0	0,00E+00	0	0,00E+00
1997	0	0,00E+00	0	0,00E+00	0	0,00E+00
1998	0	0,00E+00	0	0,00E+00	0	0,00E+00
1999	0	0,00E+00	0	0,00E+00	1	8,55E-03
2000	0	0,00E+00	0	0,00E+00	2	1,57E-02
2001	0	0,00E+00	1	7,30E-03	0	0,00E+00
2002	0	0,00E+00	1	6,80E-03	0	0,00E+00
2003	0	0,00E+00	0	0,00E+00	1	6,37E-03
2004	0	0,00E+00	0	0,00E+00	0	0,00E+00
2005	1	5,65E-03	3	1,69E-02	0	0,00E+00
2006	0	0,00E+00	1	5,35E-03	2	1,07E-02
2007	0	0,00E+00	0	0,00E+00	2	1,02E-02
2008	0	0,00E+00	5	2,42E-02	2	9,66E-03
2009	0	0,00E+00	2	9,22E-03	4	1,84E-02
2010	0	0,00E+00	4	1,75E-02	1	4,39E-03

**Πίνακας Β.11:**Αποτελέσματα των accident rates ανά έτος κατασκευής.

Year of Built	N of Accidents	Accident Rate	u.b.c.i	l.b.c.i
1985	232	3,02E-03	4,14E-04	3,76E-04
1986	141	1,83E-03	3,29E-04	2,90E-04
1987	53	6,90E-04	2,12E-04	1,73E-04
1988	73	9,50E-04	2,44E-04	2,05E-04
1989	88	1,15E-03	2,66E-04	2,27E-04
1990	127	1,65E-03	3,13E-04	2,75E-04
1991	121	1,57E-03	3,07E-04	2,68E-04
1992	89	1,16E-03	2,67E-04	2,28E-04
1993	62	8,07E-04	2,27E-04	1,88E-04
1994	81	1,05E-03	2,56E-04	2,17E-04
1995	102	1,33E-03	2,84E-04	2,45E-04
1996	91	1,18E-03	2,70E-04	2,31E-04
1997	100	1,30E-03	2,81E-04	2,42E-04
1998	82	1,07E-03	2,57E-04	2,18E-04
1999	73	9,50E-04	2,44E-04	2,05E-04
2000	88	1,15E-03	2,66E-04	2,27E-04
2001	50	6,51E-04	2,07E-04	1,68E-04
2002	50	6,51E-04	2,07E-04	1,68E-04
2003	30	3,90E-04	1,67E-04	1,27E-04
2004	55	7,16E-04	2,16E-04	1,77E-04
2005	64	8,33E-04	2,31E-04	1,91E-04
2006	38	4,95E-04	1,84E-04	1,45E-04
2007	49	6,38E-04	2,05E-04	1,66E-04

2008	37	4,82E-04	1,82E-04	1,42E-04
2009	12	1,56E-04	1,17E-04	7,55E-05
2010	1	1,30E-05	5,95E-05	1,27E-05

**Πίνακας Β.11:**Αποτελέσματα των accident rates ανά ηλικία του πλοίου.

Age	N of Accidents	Accident Rate	u.b.c.i	l.b.c.i
1	155	2,02E-03	3,43E-04	3,05E-04
2	105	1,37E-03	2,87E-04	2,49E-04
3	86	1,12E-03	2,63E-04	2,24E-04
4	70	9,11E-04	2,40E-04	2,01E-04
5	101	1,31E-03	2,82E-04	2,44E-04
6	72	9,37E-04	2,43E-04	2,04E-04
7	83	1,08E-03	2,59E-04	2,20E-04
8	83	1,08E-03	2,59E-04	2,20E-04
9	91	1,18E-03	2,70E-04	2,31E-04
10	94	1,22E-03	2,74E-04	2,35E-04
11	84	1,09E-03	2,60E-04	2,21E-04
12	89	1,16E-03	2,67E-04	2,28E-04
13	96	1,25E-03	2,76E-04	2,37E-04
14	102	1,33E-03	2,84E-04	2,45E-04
15	85	1,11E-03	2,61E-04	2,23E-04
16	92	1,20E-03	2,71E-04	2,32E-04
17	90	1,17E-03	2,68E-04	2,29E-04
18	80	1,04E-03	2,54E-04	2,15E-04
19	60	7,81E-04	2,24E-04	1,85E-04
20	61	7,94E-04	2,26E-04	1,87E-04
21	51	6,64E-04	2,09E-04	1,69E-04
22	60	7,81E-04	2,24E-04	1,85E-04
23	46	5,99E-04	2,00E-04	1,60E-04
24	34	4,42E-04	1,76E-04	1,36E-04
25	25	3,25E-04	1,55E-04	1,15E-04

**Πίνακας Β.11:**Αποτελέσματα για τα confidence intervals όλων των κατηγοριών.

<b>Confidence Intervals</b>									
<b>Σύνολο Ατυχημάτων</b>									
Year	accident rate	u.b.c.i	l.b.c.i	fatality rate	u.b.c.i	l.b.c.i	total loss rate	u.b.c.i	l.b.c.i
1995	1,11E-02	4,52E-03	3,49E-03	2,77E-03	2,68E-03	1,57E-03	1,04E-03	8,88E-04	1,03E-03
1996	1,53E-02	4,92E-03	3,99E-03	2,23E-03	2,35E-03	1,33E-03	1,59E-03	7,05E-04	1,51E-03
1997	1,35E-02	4,47E-03	3,61E-03	5,59E-03	3,12E-03	2,22E-03	2,65E-03	3,62E-04	2,33E-03

1998	1,29E-02	4,20E-03	3,39E-03	4,65E-03	2,78E-03	1,94E-03	1,64E-03	1,18E-04	1,63E-03
1999	1,48E-02	4,30E-03	3,55E-03	2,05E-03	1,98E-03	1,16E-03	1,53E-03	1,10E-04	1,53E-03
2000	1,70E-02	4,41E-03	3,71E-03	0,00E+00	8,85E-04	0,00E+00	7,20E-04	1,65E-04	7,20E-04
2001	1,63E-02	4,18E-03	3,52E-03	2,71E-03	2,02E-03	1,31E-03	1,58E-03	4,99E-05	1,53E-03
2002	1,54E-02	3,95E-03	3,33E-03	8,55E-04	1,33E-03	6,22E-04	6,42E-04	5,49E-04	6,36E-04
2003	1,76E-02	4,07E-03	3,49E-03	8,52E-03	2,98E-03	2,37E-03	1,83E-03	2,50E-04	1,60E-03
2004	2,28E-02	4,43E-03	3,88E-03	8,87E-03	2,94E-03	2,37E-03	1,54E-03	4,31E-04	1,33E-03
2005	2,54E-02	4,53E-03	4,01E-03	4,41E-03	2,15E-03	1,58E-03	1,84E-03	5,11E-04	1,79E-03
2006	2,70E-02	4,55E-03	4,06E-03	1,58E-02	3,59E-03	3,08E-03	2,11E-03	8,39E-04	2,06E-03
2007	4,22E-02	5,42E-03	4,97E-03	4,20E-03	1,99E-03	1,48E-03	2,18E-03	2,25E-04	1,91E-03
2008	4,00E-02	5,17E-03	4,74E-03	4,67E-03	2,03E-03	1,54E-03	1,29E-03	3,60E-04	1,11E-03
2009	3,98E-02	5,00E-03	4,58E-03	4,24E-03	1,88E-03	1,42E-03	2,27E-03	5,05E-04	2,02E-03
2010	4,41E-02	5,25E-03	4,84E-03	9,46E-03	2,65E-03	2,20E-03	3,05E-03	1,06E-03	2,72E-03
<b>average</b>	2,34E-02			5,06E-03			1,72E-03		

**499<GT≤1000**

<b>Year</b>	<b>accident rate</b>	<b>u.b.c.i</b>	<b>l.b.c.i</b>	<b>fatality rate</b>	<b>u.b.c.i</b>	<b>l.b.c.i</b>	<b>total loss rate</b>	<b>u.b.c.i</b>	<b>l.b.c.i</b>
1995	9,62E-03	1,48E-02	6,99E-03	1,20E-02	1,58E-02	8,11E-03	2,40E-03	1,09E-02	2,34E-03
1996	6,61E-03	1,26E-02	5,24E-03	0,00E+00	8,09E-03	0,00E+00	4,41E-03	1,14E-02	3,87E-03
1997	6,10E-03	1,16E-02	4,84E-03	8,13E-03	1,26E-02	5,91E-03	6,10E-03	1,16E-02	4,84E-03
1998	1,89E-03	8,58E-03	1,84E-03	0,00E+00	6,94E-03	0,00E+00	0,00E+00	6,94E-03	0,00E+00
1999	8,80E-03	1,16E-02	5,94E-03	0,00E+00	6,47E-03	0,00E+00	0,00E+00	6,47E-03	0,00E+00
2000	4,95E-03	9,45E-03	3,93E-03	0,00E+00	6,07E-03	0,00E+00	0,00E+00	6,07E-03	0,00E+00
2001	4,66E-03	8,89E-03	3,70E-03	4,66E-03	8,89E-03	3,70E-03	1,55E-03	7,07E-03	1,51E-03
2002	5,87E-03	9,08E-03	4,26E-03	0,00E+00	5,39E-03	0,00E+00	0,00E+00	5,39E-03	0,00E+00
2003	9,72E-03	1,02E-02	5,80E-03	2,08E-02	1,33E-02	9,13E-03	1,39E-03	6,32E-03	1,35E-03

2004	6,60E-03	8,73E-03	4,45E-03	0,00E+00	4,85E-03	0,00E+00	1,32E-03	6,01E-03	1,29E-03
2005	7,54E-03	8,80E-03	4,77E-03	0,00E+00	4,62E-03	0,00E+00	2,51E-03	6,53E-03	2,21E-03
2006	8,40E-03	8,83E-03	5,02E-03	9,00E-02	2,15E-02	1,86E-02	6,00E-03	7,95E-03	4,05E-03
2007	2,41E-02	1,25E-02	9,13E-03	0,00E+00	4,23E-03	0,00E+00	5,74E-03	7,60E-03	3,87E-03
2008	1,21E-02	9,45E-03	6,05E-03	0,00E+00	4,05E-03	0,00E+00	2,20E-03	5,72E-03	1,93E-03
2009	9,39E-03	8,36E-03	5,09E-03	0,00E+00	3,84E-03	0,00E+00	2,09E-03	5,43E-03	1,83E-03
2010	1,02E-02	8,52E-03	5,32E-03	0,00E+00	3,77E-03	0,00E+00	3,07E-03	5,88E-03	2,44E-03
<b>average</b>	8,54E-03			8,48E-03			2,42E-03		

**1000<GT≤20000**

<b>Year</b>	<b>accident rate</b>	<b>u.b.c.i</b>	<b>l.b.c.i</b>	<b>fatality rate</b>	<b>u.b.c.i</b>	<b>l.b.c.i</b>	<b>total loss rate</b>	<b>u.b.c.i</b>	<b>l.b.c.i</b>
1995	1,19E-02	5,24E-03	3,97E-03	1,27E-03	2,44E-03	1,01E-03	8,48E-04	2,21E-03	7,45E-04
1996	1,75E-02	5,86E-03	4,72E-03	2,73E-03	2,89E-03	1,63E-03	1,17E-03	2,24E-03	9,28E-04
1997	1,55E-02	5,33E-03	4,26E-03	5,41E-03	3,50E-03	2,38E-03	2,16E-03	2,54E-03	1,37E-03
1998	1,54E-02	5,10E-03	4,11E-03	5,71E-03	3,41E-03	2,38E-03	2,01E-03	2,36E-03	1,27E-03
1999	1,63E-02	5,03E-03	4,11E-03	2,51E-03	2,43E-03	1,43E-03	1,88E-03	2,21E-03	1,19E-03
2000	1,92E-02	5,20E-03	4,34E-03	0,00E+00	1,09E-03	0,00E+00	8,84E-04	1,70E-03	7,02E-04
2001	1,86E-02	4,96E-03	4,16E-03	2,50E-03	2,24E-03	1,36E-03	1,67E-03	1,96E-03	1,05E-03
2002	1,76E-02	4,70E-03	3,93E-03	1,05E-03	1,64E-03	7,64E-04	7,88E-04	1,51E-03	6,25E-04
2003	1,97E-02	4,79E-03	4,07E-03	6,73E-03	3,05E-03	2,29E-03	1,99E-03	1,93E-03	1,13E-03
2004	2,68E-02	5,33E-03	4,66E-03	1,09E-02	3,61E-03	2,91E-03	1,66E-03	1,76E-03	9,91E-04
2005	2,87E-02	5,35E-03	4,72E-03	5,42E-03	2,63E-03	1,94E-03	1,81E-03	1,75E-03	1,03E-03
2006	2,96E-02	5,29E-03	4,69E-03	3,24E-03	2,10E-03	1,42E-03	1,51E-03	1,60E-03	9,03E-04
2007	4,56E-02	6,26E-03	5,71E-03	5,16E-03	2,45E-03	1,82E-03	1,65E-03	1,60E-03	9,39E-04
2008	4,54E-02	6,11E-03	5,57E-03	5,74E-03	2,49E-03	1,89E-03	1,19E-03	1,40E-03	7,52E-04
2009	4,49E-02	5,87E-03	5,37E-03	3,90E-03	2,05E-03	1,48E-03	2,41E-03	1,71E-03	1,13E-03

2010	5,08E-02	6,25E-03	5,75E-03	1,17E-02	3,27E-03	2,71E-03	3,20E-03	1,92E-03	1,33E-03
<b>average</b>	2,65E-02			4,62E-03			1,68E-03		
<b>GT&gt;20000</b>									
<b>Year</b>	<b>accident rate</b>	<b>u.b.c.i</b>	<b>l.b.c.i</b>	<b>fatality rate</b>	<b>u.b.c.i</b>	<b>l.b.c.i</b>	<b>total loss rate</b>	<b>u.b.c.i</b>	<b>l.b.c.i</b>
1995	0,00E+00	3,10E-02	0	0,00E+00	3,10E-02	0	0,00E+00	3,10E-02	0
1996	0,00E+00	2,86E-02	0	0,00E+00	2,86E-02	0	0,00E+00	2,86E-02	0
1997	0,00E+00	2,66E-02	0	0,00E+00	2,66E-02	0	0,00E+00	2,66E-02	0
1998	0,00E+00	2,48E-02	0	0,00E+00	2,48E-02	0	0,00E+00	2,48E-02	0
1999	6,37E-03	2,86E-02	6,21E-03	0,00E+00	2,32E-02	0	0,00E+00	2,32E-02	0
2000	1,20E-02	3,06E-02	1,05E-02	0,00E+00	2,18E-02	0	0,00E+00	2,18E-02	0
2001	1,13E-02	2,89E-02	9,93E-03	0,00E+00	2,06E-02	0	0,00E+00	2,06E-02	0
2002	5,35E-03	2,41E-02	5,21E-03	0,00E+00	1,95E-02	0	0,00E+00	1,95E-02	0
2003	5,08E-03	2,29E-02	4,95E-03	0,00E+00	1,86E-02	0	0,00E+00	1,86E-02	0
2004	0,00E+00	1,77E-02	0,00E+00	0,00E+00	1,77E-02	0	0,00E+00	1,77E-02	0
2005	2,30E-02	2,99E-02	1,55E-02	0,00E+00	1,69E-02	0	0,00E+00	1,69E-02	0
2006	4,39E-02	3,53E-02	2,26E-02	0,00E+00	1,60E-02	0	0,00E+00	1,60E-02	0
2007	2,94E-02	3,02E-02	1,75E-02	0,00E+00	1,54E-02	0	0,00E+00	1,54E-02	0
2008	3,23E-02	3,03E-02	1,82E-02	0,00E+00	1,48E-02	0	0,00E+00	1,48E-02	0
2009	4,63E-02	3,32E-02	2,22E-02	2,70E-02	2,79E-02	1,09E-02	0,00E+00	2,79E-02	0
2010	3,77E-02	3,06E-02	1,95E-02	0,00E+00	1,38E-02	0	0,00E+00	1,38E-02	0
<b>average</b>	1,58E-02								



**Πίνακας Β.12:** Αποτελέσματα των 95-C.I για κάθε τύπο ατυχήματος.

<b>95-Confidence Intervals</b>						
	<b>499&lt;GT≤1000</b>		<b>1000&lt;GT≤20000</b>		<b>GT&gt;20000</b>	
<b>Type of Casualty</b>	<b>C.I.U.B</b>	<b>C.I.L.B</b>	<b>C.I.U.B</b>	<b>C.I.L.B</b>	<b>C.I.U.B</b>	<b>C.I.L.B</b>
<b>collision</b>	3,29E-03	1,44E-03	6,16E-03	4,98E-03	8,44E-03	2,98E-03
<b>contact</b>	1,52E-03	3,67E-04	2,28E-03	1,58E-03	5,12E-03	1,12E-03
<b>fire/explosion</b>	7,82E-04	5,52E-05	2,35E-03	1,63E-03	2,35E-03	7,88E-05
<b>foundering</b>	1,98E-03	6,17E-04	1,25E-03	7,46E-04	1,81E-03	8,23E-06
<b>hull/machinery</b>	3,29E-03	1,44E-03	1,31E-02	1,14E-02	8,84E-03	3,22E-03
<b>wrecked/stranded</b>	3,29E-03	1,44E-03	7,13E-03	5,86E-03	8,03E-03	2,73E-03

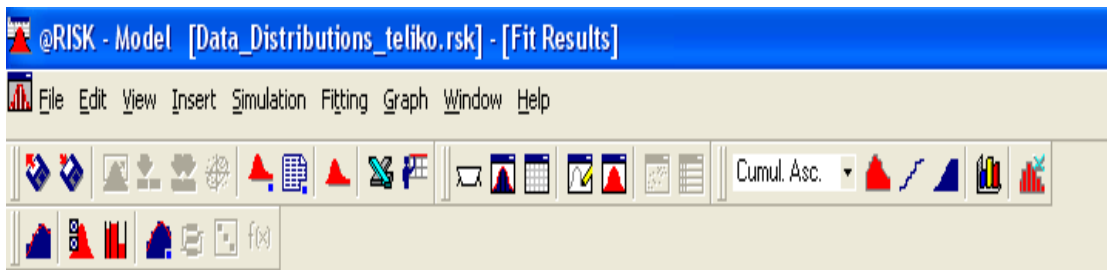
**Πίνακας Β.13:** Αποτελέσματα των average accident rates για κάθε τύπο ατυχήματος.

<b>AVERAGE ACCIDENT RATES</b>			
<b>Type of Casualty</b>	<b>499&lt;GT≤1000</b>	<b>1000&lt;GT≤20000</b>	<b>GT&gt;20000</b>
<b>collision</b>	2,15E-03	4,81E-03	5,59E-03
<b>contact</b>	7,52E-04	1,68E-03	3,31E-03
<b>fire/explosion</b>	3,02E-04	1,86E-03	7,89E-04
<b>foundering</b>	1,09E-03	9,51E-04	4,71E-04
<b>hull/machinery</b>	2,15E-03	1,12E-02	7,28E-03
<b>wrecked/stranded</b>	1,90E-03	5,75E-03	7,00E-03

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Το πρόγραμμα @Risk

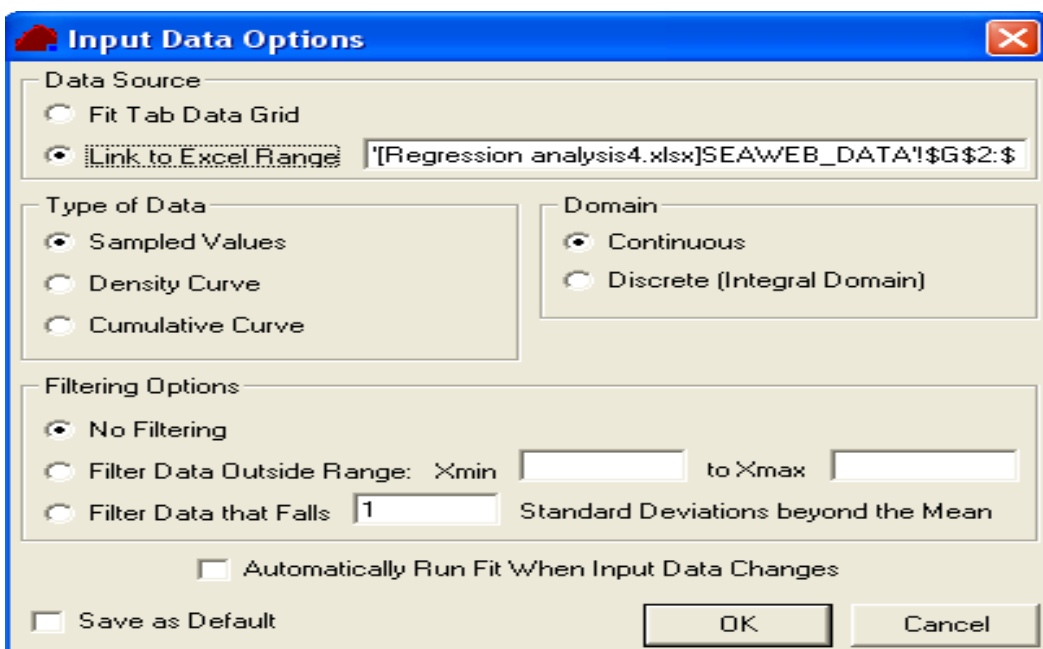
Στο Παράρτημα Γ γίνεται μια σύντομη αναφορά στο πρόγραμμα @Risk με επίκεντρο το μέρος αυτού που χρησιμοποιήθηκε στη διπλωματική εργασία και αφορά στην εύρεση κατανομών που περιγράφουν καλύτερα τα δεδομένα της κάθε επιλεγμένης παραμέτρου. Το εύρος λειτουργίας του συγκεκριμένου υπολογιστικού πακέτου είναι πολύ μεγάλο και μπορεί να γίνει χρήση αυτού σε πλήθος εφαρμογών. Στη συνέχεια με χρήση χαρακτηριστικών εικόνων θα περιγραφεί ο τρόπος που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη περίπτωση.

Η μπάρα εργασίας του προγράμματος παρουσιάζεται στην εικόνα Γ.1.



Εικόνα Γ.1:Μπάρα Εργασίας του προγράμματος @Risk.

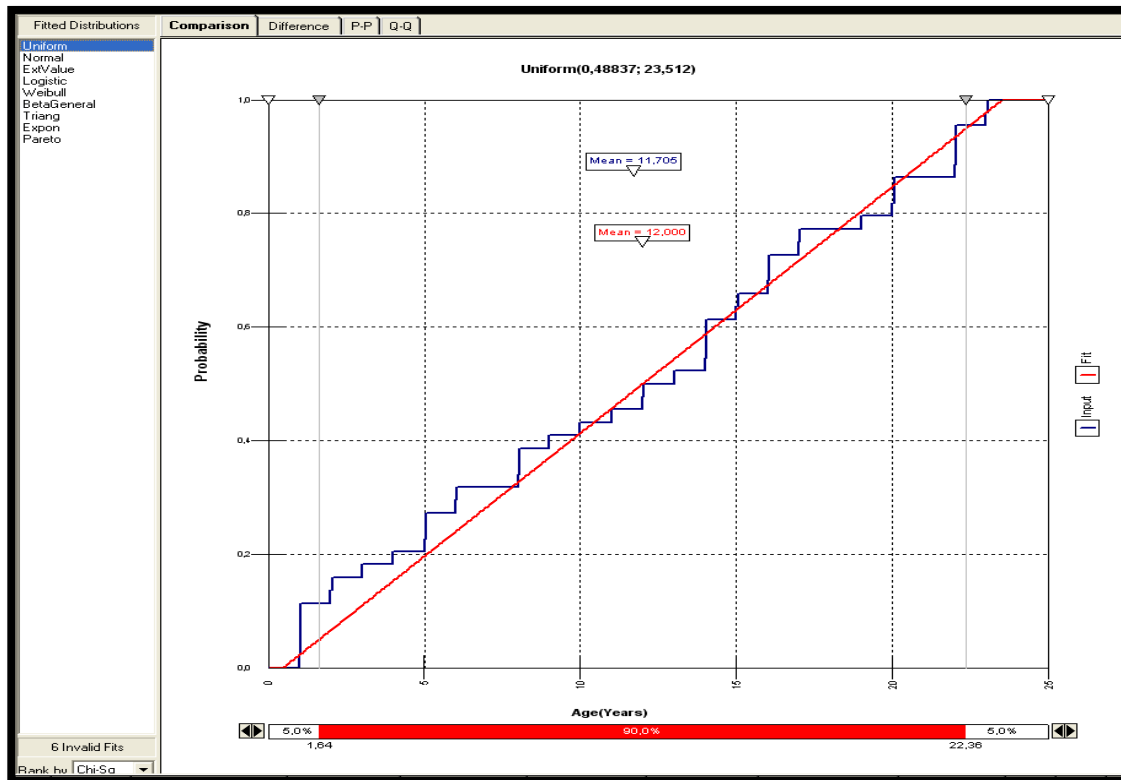
Στην κάτω σειρά της μπάρας βρίσκονται οι εντολές για την απόδοση κατανομών σε δεδομένα. Πρώτα από όλα πρέπει να εισαχθούν τα δεδομένα. Το πρόγραμμα δρα διαδραστικά με το MS Excel. Όταν επιλεχτούν τα δεδομένα από το υπολογιστικό φύλλο ανοίγει το παράθυρο το παρακάτω παράθυρο επιλογών.



Εικόνα Γ.2:Παράθυρο Input Data Options.

Στο παράθυρο της εικόνας Γ.2 επιλέγεται αν οι τιμές αφορούν κάποιο τυχαίο δείγμα ή αφορούν μια συνάρτηση πυκνότητας ή μια αθροιστική συνάρτηση. Ακόμη επιλέγεται αν οι

τιμές είναι διακριτές ή συνεχείς. Τέλος, επιλέγεται φιλτράρισμα των τιμών, δηλαδή αν θέλουμε να εξαιρεθούν κάποιες τιμές του δείγματος. Μπορεί να οριστούν οι τιμές  $X_{\min}$  και  $X_{\max}$  που ορίζουν το εύρος τιμών του δείγματος που επιθυμούμε να εισάγουμε ή να εξαιρεθούν τιμές που απέχουν η τυπικές αποκλίσεις από τη μέση τιμή του δείγματος. Όταν ολοκληρωθούν οι επιλογές, εμφανίζεται το παρακάτω αποτέλεσμα.



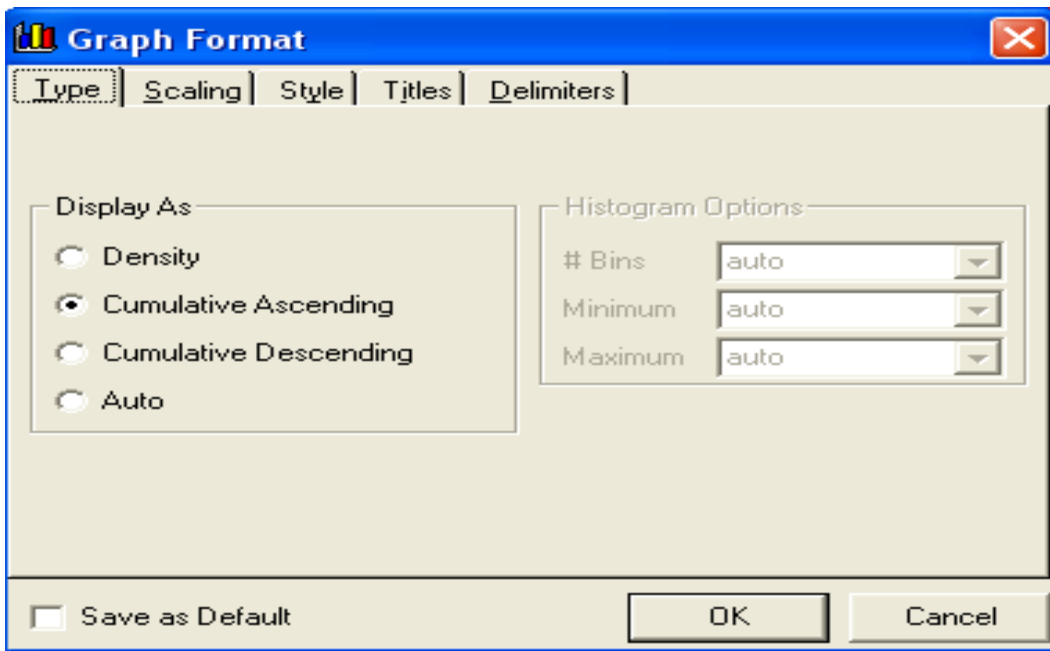
Εικόνα Γ.3: Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής των δεδομένων.

Στην εικόνα Γ.3 βλέπουμε την αθροιστική συνάρτηση κατανομής για τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί. Στο πάνω μέρος υπάρχουν οι επιλογές Comparison, Difference, P-P και Q-Q που είναι επιλογές εμφάνισης της οπτικής αξιολόγησης της σχέσης της κατανομής των δεδομένων με αυτή που επιλέγεται για τη βέλτιστη περιγραφή τους. Στο πάνω και αριστερό μέρος φαίνεται το σύνολο των κατανομών που περιγράφουν τα δεδομένα κατά αξιολογημένη σειρά με βάση το κριτήριο που επιλέγεται στο κάτω μέρος. Αυτό μπορεί να είναι ένα εκ των:

- 1<sup>ov</sup>) Chi squared ( $\chi^2$ )
- 2<sup>ov</sup>) Kolmogorov-Smirnoff (K-S)
- 3<sup>ov</sup>) Anderson-Darling (A-D)

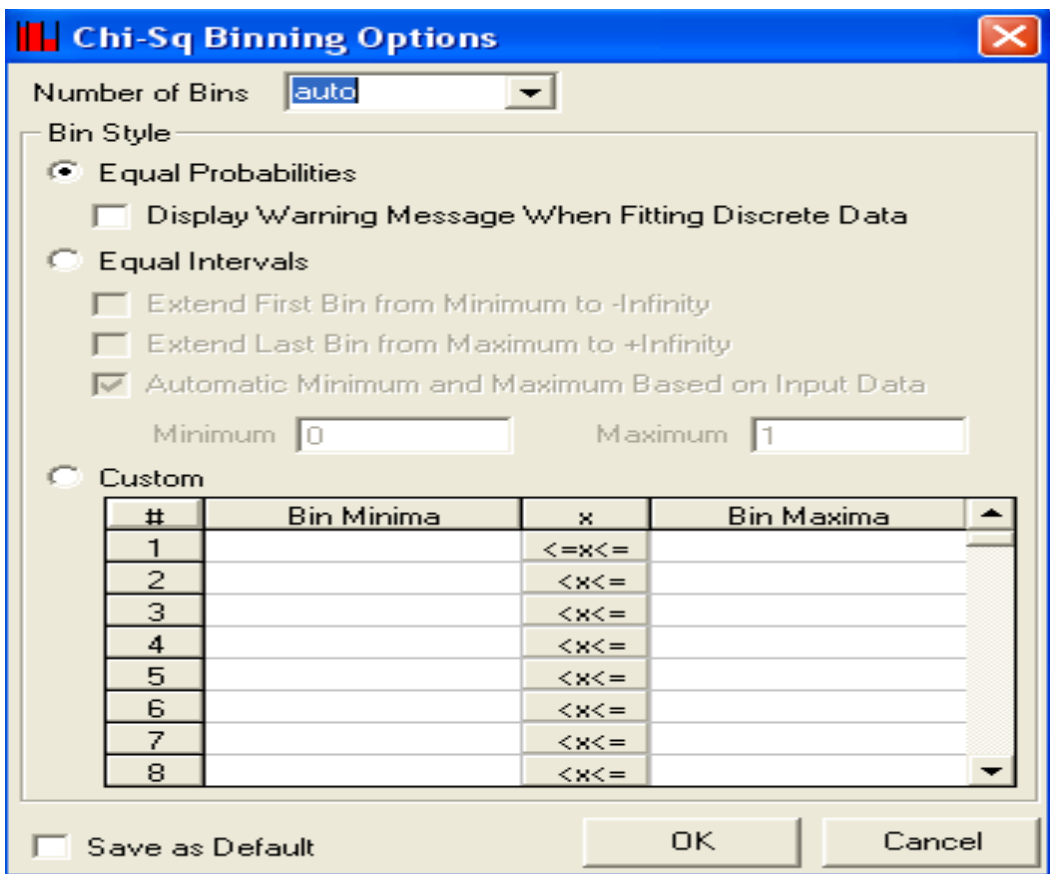
Για επεξεργασία του διαγράμματος επιλέγουμε την εντολή Graph Format. Εκεί υπάρχουν οι επιλογές:

- Type: εδώ ορίζεται ο τύπος του γραφήματος, δηλαδή συνάρτηση πυκνότητας, αθροιστική συνάρτηση, ή η αντίστροφη της αθροιστικής.
- Scaling: εδώ επιλέγεται η κλίμακα, ποιο το ελάχιστο και το μέγιστο που θέλουμε να απεικονίζεται στο γράφημα.
- Style: εδώ γίνεται μορφοποίηση των γραμμών και των χρωμάτων.
- Titles: εδώ ορίζεται ο τρόπος εμφάνισης των τίτλων των αξόνων.
- Delimiters: εδώ ορίζονται οι οριοθέτες δηλαδή η θέση της μπάρας με κόκκινο χρώμα που βρίσκεται ακριβώς κάτω από το γράφημα.



Εικόνα Γ.4: Παράθυρο Graph Format.

Μια επιπλέον επιλογή που μπορεί να γίνει αφορά στον αριθμό των περιοχών που ορίζονται από το πρόγραμμα για την κατασκευή της κατανομής των δεδομένων. Αυτή γίνεται από το παράθυρο Chi Binning Options που φαίνεται στην εικόνα Γ.5.



Εικόνα Γ.5: Παράθυρο Chi Binning Options.

Στο παράθυρο της εικόνας Γ.5 επιλέγεται ο τρόπος ορισμού των περιοχών χωρίσματος της κατανομής των δεδομένων. Μπορούμε να επιλέξουμε να γίνεται αυτόματα, να

δημιουργούνται περιοχές ίσων πιθανοτήτων, να δημιουργούνται περιοχές ίδιου εύρους τιμών ή τέλος μπορούμε να εισάγουμε εμείς οι ίδιοι τα επιθυμητά χωρίσματα.

Μετά την επιλογή τη κατανομής που περιγράφει βέλτιστα τα δεδομένα εμφανίζονται δύο πίνακες οι οποίοι παρουσιάζονται στις δύο επόμενες εικόνες Γ.6 και Γ.7.

Στον πρώτο πίνακα γίνεται παράθεση ορισμένων χαρακτηριστικών στοιχείων για το ιστόγραμμα που προέρχεται από τα δεδομένα και την κατανομή που επιλέγεται από το πρόγραμμα, ενώ στο δεύτερο πίνακα παρουσιάζεται η επίδοση της συγκεκριμένης κατανομής σε όλα τα τεστ κατάταξης.

Stats	GOF	
	Fit	Input
Function	=RiskUniform(0	N/A
min	0,48837209302	N/A
max	23,51162790697	N/A
Left X	1,64	1,64
Left P	5,00%	11,36%
Right X	22,36	22,36
Right P	95,00%	95,45%
Diff. X	20,7209	20,7209
Diff. P	90,00%	84,09%
Minimum	0,48837	1,0000
Maximum	23,512	23,000
Mean	12,000	11,705
Mode	N/A	1,0000 [est]
Median	12,000	12,500
Std. Deviation	6,6462	7,2226
Variance	44,173	50,981
Skewness	0,0000	-0,0328
Kurtosis	1,8000	1,7396

Εικόνα Γ.6: Σύγκριση στοιχείων των δύο κατανομών.

Stats	GOF		
	Chi-Sq	A-D	K-S
Test Value	2,909	0,7378	0,09343
P Value	0,8933	N/A	N/A
Rank	1	1	1

Εικόνα Γ.7: επίδοση της επιλεγμένης κατανομής στα τεστ κατάταξης.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι υπάρχει πλήθος επιλογών και εφαρμογών του συγκεκριμένου υπολογιστικού πακέτου που δεν αποτέλεσαν αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας και για τις οποίες δε γίνεται αναφορά στο Παράρτημα Γ.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ:Το πρόγραμμα παραγωγής σεναρίων

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Oracle Crystal Ball για την παραγωγή των επιθυμητών σεναρίων.Αφού είχαν προκύψει οι κατανομές των παραμέτρων με το πρόγραμμα @Risk,αυτές εισήχθησαν στο Crystal Ball και με κατάλληλη προσωμείωση οδήγησαν στην παραγωγή των σεναρίων.Στο Παράρτημα Δ,γίνεται μια σύντομη αναφορά του τρόπου εισαγωγής των κατανομών στο πρόγραμμα και τη ρύθμιση των απαραίτητων παραμέτρων για τη διεξαγωγή της προσωμοίωσης με χρήση χαρακτηριστικών εικόνων.

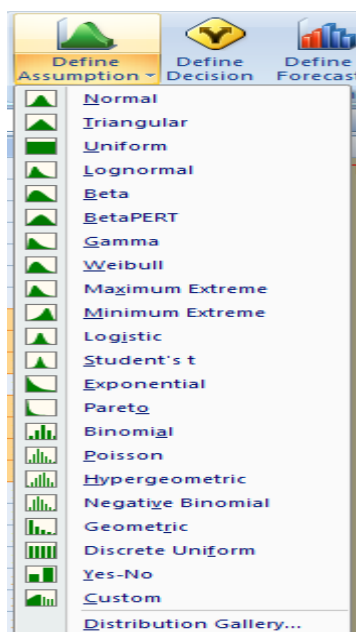
Στο σχήμα Δ.1 παρουσιάζεται η μπάρα εργασίας του Crystal Ball,το οποίο σημειώνεται ότι λειτουργεί ως πρόσθετο του MS Excel.



Εικόνα Δ.1:Μπάρα εργασίας του Crystal Ball.

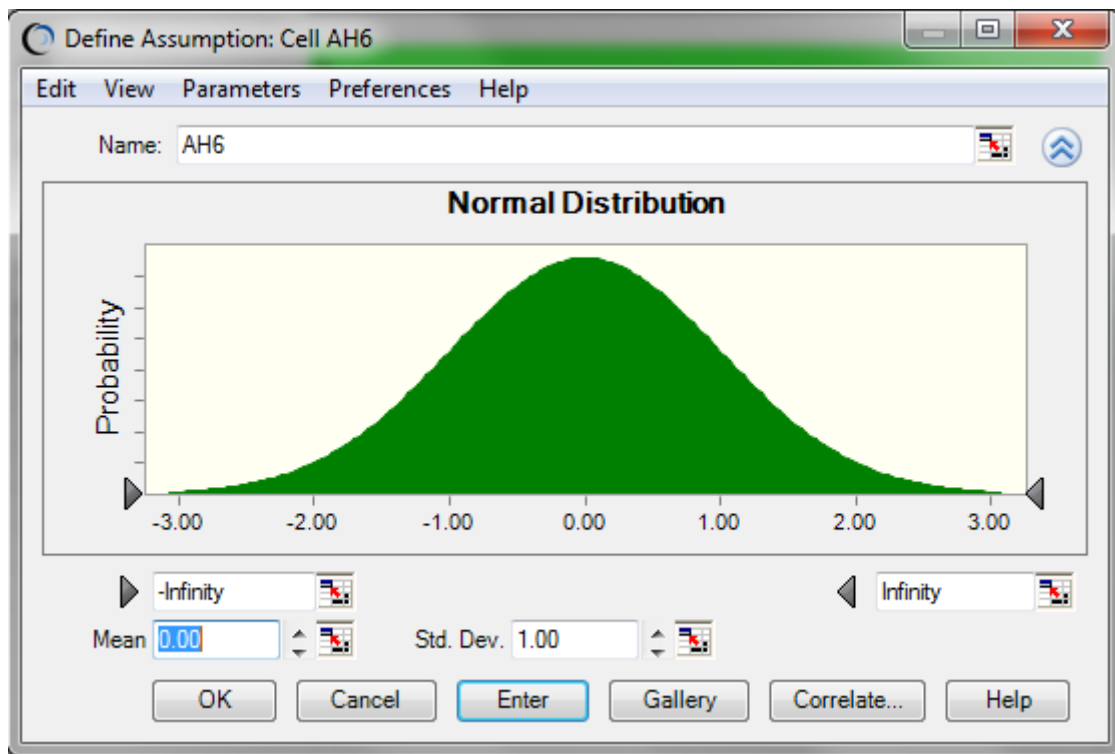
Στην μπάρα εργασίας υπάρχουν οι παρακάτω επιλογές:

- Define: εδώ ορίζονται οι κατανομές.
- Run: εδώ ορίζονται οι παράμετροι της προσωμοίωσης και εκτελείται αυτή.
- Analyze: εδώ αναλύονται τα εξαγόμενα της προσωμοίωσης.
- Help: εδώ βρίσκονται οι επιλογές βοήθειας.



Εικόνα Δ.2:Μενού Define Assumption

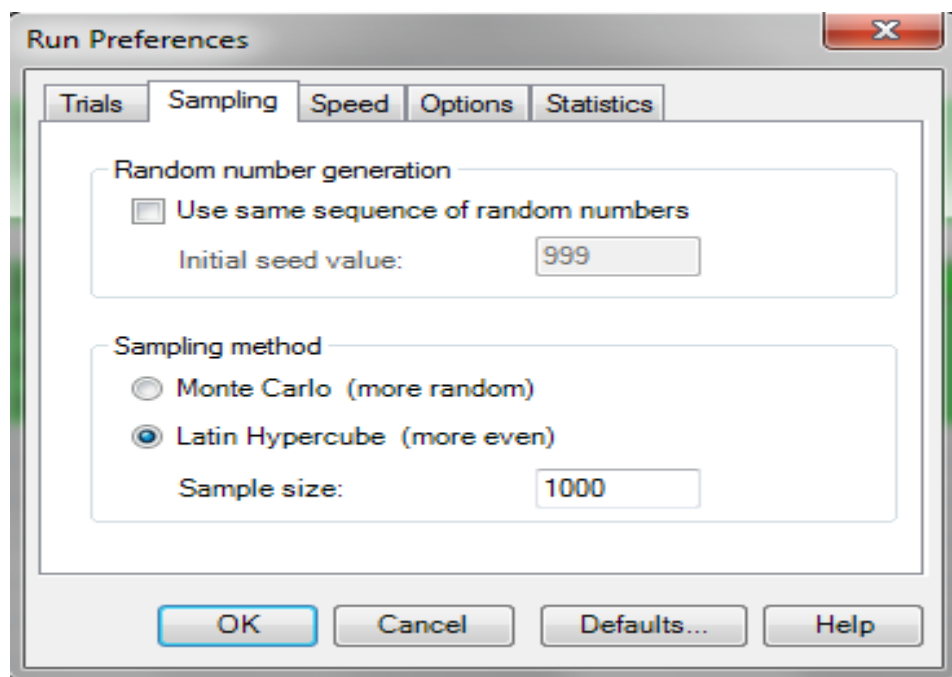
Εμείς έχουμε υποθέσει κάποιες συγκεκριμένες κατανομές,άρα επιλέξαμε Define Assumptions.Το μενού που εμφανίζεται φαίνεται στην εικόνα Δ.2.Στο μενού αυτό μπορούμε να επιλέξουμε την κατανομή που επιθυμούμε και στη συνέχεια να πραγματοποιήσουμε την επεξεργασία των παραμέτρων της σύμφωνα με το παράθυρο της εικόνας Δ.3.Έστω ότι επιλέγεται η κανονική κατανομή για ένα επιλεγμένο κελί του υπολογιστικού φύλλου.Μπορούμε να ορίσουμε τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση,μεγέθη που εν προκειμένω ορίζουν πλήρως την κατανομή,αλλά και να ορίσουμε επίσης το εύρος τιμών εξ αυτής που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε στην προσωμοίωσή μας.Για το σύνολο των παραμέτρωνπου ορίζονται προκύπτει και η αντίστοιχη γραφική απεικόνιση.Τέλος,στο πεδίο Names ορίζουμε το όνομα της παραμέτρου που περιγράφεται από τη συγκεκριμένη κατανομή.



Εικόνα Δ.3:παράθυρο Define Assumption για το επιλεγμένο κελί και την επιλεγμένη κατανομή.

Με την εντολή Cell Prefs επιλέγουμε τον τρόπο εμφάνισης του κελιού που περιέχει την υπόθεση,π.χ πράσινο χρώμα.

Όταν όλες οι παράμετροι έχουν εισαχθεί κατά αυτόν τον τρόπο πρέπει να οριστούν οι παράμετροι της προσομοίωσης.Αυτό γίνεται με την επιλογή Run Preferences.Τότε ανοίγει το παράθυρο της επόμενης εικόνας.

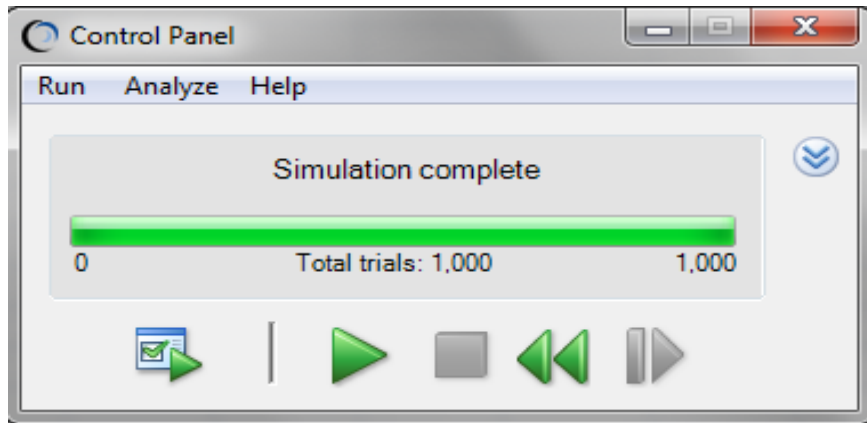


Εικόνα Δ.4:παράθυρο Run Preferences.

Στο μενού της εικόνας Δ.4 υπάρχουν 5 κατηγορίες επιλογών:  
1<sup>ο</sup>) για τον αριθμό του τελικού δείγματος.

- 2<sup>ον</sup>) για τη μέθοδο δειγματοληψίας.
- 3<sup>ον</sup>) για την ταχύτητα της προσωμοίωσης.
- 4<sup>ον</sup>) επιλογές εμφάνισης των αποτελεσμάτων.
- 5<sup>ον</sup>) τρόπος της πιθανοθεωρητικής εμφάνισης των αποτελεσμάτων.

Μετά και την ολοκλήρωση αυτών των επιλογών ξεκινάμε την προσωμοίωση με την εντολή Start. Τότε το παρακάτω παράθυρο εμφανίζεται.



Εικόνα Δ.4:παράθυρο ελέγχου της προσωμοίωσης.

Εδώ φαίνεται η εξέλιξη της προσωμοίωσης ενώ επίσης υπάρχουν επιλογές ανάλυσης των αποτελεσμάτων, οι ίδιες με αυτές της κατηγορίας Analyze της αρχικής μπάρα επιλογών. Μπορούμε να επιλέξουμε τη δημιουργία αναλυτικής αναφοράς της προσωμοίωσης και να αποθηκεύσουμε τα δεδομένα των αποτελεσμάτων.

Και στην περίπτωση του Crystal Ball, όπως για το @Risk, οι δυνατότητες χρήσης είναι πολύ μεγάλες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πληθώρα εφαρμογών.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: Συγκεντρωτικός Πίνακας Σεναρίων

Πίνακας Ε.1: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σεναρίων .

GT	AGE	MCR	CASUALTY TYPE	CARGO STATUS	WEATHER CONDITION	FATALITIES
4948	0,67	2823	4	2	3	4,23
613	5,98	694	2	1	3	14,79
3596	9,42	828	3	1	3	1,50
2978	21,55	861	2	1	3	2,85
1125	1,98	3228	4	1	2	1,92
2015	20,17	4541	6	3	3	10,16
1334	17,34	2955	1	3	3	1,98
2155	19,44	4057	2	1	2	6,81
4400	9,22	2072	1	1	2	2,48
10709	18,40	578	4	1	3	0,53
5596	10,67	692	6	2	3	0,30
5937	4,24	2826	3	1	3	0,80
697	2,56	2396	4	1	3	2,95
6973	15,54	728	3	1	3	1,11
2295	17,45	1087	1	1	2	2,31
2644	7,12	1398	3	2	3	0,09
1525	4,06	3186	2	2	3	10,34
2622	8,08	5193	1	1	2	5,49
1399	9,86	1793	4	1	3	2,19
1142	13,89	1376	3	1	1	16,84
1267	5,32	717	4	1	3	2,63
8457	22,48	914	2	1	3	1,64
11142	13,21	863	2	3	3	3,35
2119	11,35	4617	1	2	2	5,78
1328	12,27	7030	1	3	2	2,54
3296	15,16	1307	5	2	1	7,93
2823	11,19	920	2	2	3	2,02
6984	4,10	742	3	1	3	1,16
1390	13,18	2904	1	1	3	1,25
2368	1,80	2097	2	1	3	8,97
2166	18,09	1233	1	1	3	3,53
888	20,54	1222	2	1	3	5,59
5750	18,54	2802	2	3	3	0,87
3703	0,74	4594	3	1	3	0,19
2017	6,35	2766	1	1	3	1,78
3687	20,75	2486	1	2	3	3,19
1536	15,32	1488	2	3	3	15,07
3955	5,09	1024	1	1	3	4,15
1866	5,29	2469	4	3	2	1,93
4862	16,42	2404	2	3	3	0,42
4513	9,95	3858	4	2	2	2,06
7702	6,24	1094	3	1	3	1,44

5993	13,57	970	2	1	2	7,82
2497	21,18	5217	3	1	3	0,04
2677	14,69	660	2	2	3	6,29
4366	14,19	1100	2	2	2	1,38
3976	14,38	932	1	3	3	12,70
3379	10,17	659	2	1	3	3,05
1183	13,26	884	3	2	3	2,55
2712	1,32	1028	2	2	3	9,86
6327	22,08	1933	3	1	2	0,32
2104	21,30	1061	3	2	3	10,04
2479	8,26	602	2	1	3	3,91
5097	20,23	2518	2	1	3	3,11
2982	10,69	3080	5	1	2	7,28
3734	9,49	5147	2	1	3	2,57
4485	0,71	2175	1	1	2	1,43
1412	19,30	2262	4	3	2	4,93
3209	5,60	929	3	1	3	2,40
1426	17,99	577	4	1	3	4,53
7913	21,99	1303	2	1	2	0,09
4521	14,32	737	2	1	3	1,23
1492	3,58	3127	2	1	3	0,46
3310	7,75	1689	2	1	2	25,06
4894	3,36	1408	3	1	3	0,18
2417	21,62	887	5	3	3	7,57
2831	1,31	4132	3	3	3	3,81
8938	5,07	945	2	2	2	12,98
5924	16,78	841	4	2	3	5,17
1163	23,39	612	2	2	3	5,36
3308	10,88	2003	5	1	3	4,58
2466	5,89	3661	3	1	3	0,52
5122	10,33	1666	2	2	3	2,56
2050	2,42	565	4	2	3	28,89
2794	3,87	2218	2	1	3	0,59
4189	8,67	2021	3	2	2	1,67
995	15,19	1252	4	1	3	7,08
2424	18,95	1686	2	2	3	1,64
5900	14,76	3691	2	1	3	0,25
1099	3,49	511	5	1	1	6,63
3338	21,58	1212	5	1	3	5,69
3609	10,91	1189	1	2	3	0,73
4138	22,31	1533	4	1	3	2,80
767	16,64	1626	1	1	3	7,05
3876	7,35	1242	3	1	3	0,68
2557	22,71	665	4	2	3	11,85
1577	22,90	777	3	1	3	17,99
3286	17,04	2411	2	1	3	3,19
3712	9,79	8779	2	2	3	9,85
1723	3,05	4454	1	1	2	2,12
1864	6,99	1250	3	2	3	5,47
4057	6,10	1001	3	1	3	2,77

3066	22,13	2684	5	3	3	3,39
3522	14,83	3017	1	2	3	0,73
3392	15,76	953	4	2	2	0,71
2309	6,87	1538	2	1	2	5,65
2945	8,69	1615	1	1	3	3,23
8310	11,27	978	5	2	3	3,88
4037	23,17	1902	2	1	1	2,33
5374	12,93	1271	1	2	3	0,21
2891	1,16	2465	6	1	2	7,77
2565	8,52	1434	1	2	3	0,49
6102	10,64	964	2	3	3	2,49
4475	16,18	1026	2	1	3	1,82
1443	8,13	2178	3	1	2	6,61
4664	11,14	696	3	2	2	7,49
3491	12,42	1405	1	1	3	0,33
2588	23,40	1389	3	2	3	2,41
2011	15,65	2451	2	1	3	13,42
5088	18,34	721	3	2	2	5,32
1449	12,72	619	1	3	2	3,03
3563	19,27	1064	2	2	3	1,34
1899	1,08	2601	3	1	3	0,43
5687	6,72	3626	1	3	3	0,61
3034	2,06	1564	6	2	3	3,31
1924	0,92	2707	2	2	3	6,68
2395	11,43	852	4	3	3	1,14
2161	15,38	2090	3	1	3	7,22
6080	7,53	2698	2	1	3	3,42
2182	16,22	1744	1	3	3	7,64
6714	16,97	1646	3	2	2	0,69
5130	11,68	1255	5	2	3	8,37
4712	8,65	720	3	2	2	5,97
2561	6,81	2779	5	1	3	0,02
3508	19,64	525	3	2	3	2,69
9601	12,14	3197	2	1	3	9,11
2658	11,51	1217	2	1	2	5,59
4147	7,03	2059	3	1	3	11,24
4014	16,69	1946	4	2	3	4,36
983	23,34	592	4	2	3	4,07
2899	10,30	3399	1	1	3	0,86
5152	14,00	1713	3	3	3	9,16
4752	15,80	1297	3	1	1	1,36
2427	2,93	1721	1	2	2	2,42
863	15,70	6156	4	1	2	2,11
3992	18,48	966	1	1	2	11,53
3925	19,98	1501	4	3	3	1,20
2507	20,95	2774	3	1	2	3,92
5270	6,25	781	1	2	3	1,49
3315	12,91	640	1	3	3	5,38
3097	5,43	1040	2	1	1	0,34
6215	1,83	3364	1	3	3	4,02

5490	6,90	3433	1	1	3	2,22
1150	13,50	1780	5	2	3	9,46
1944	17,85	1274	4	2	3	0,15
3546	22,55	1455	1	2	3	3,14
5727	13,37	858	6	3	3	0,99
1562	8,94	4227	2	2	2	3,52
2483	21,42	4852	2	1	3	0,39
3506	13,11	2077	1	1	3	0,24
2756	19,85	1637	3	1	3	0,11
1062	6,29	4201	1	1	3	2,43
846	12,17	922	1	2	1	1,48
9519	2,99	3985	4	2	3	3,06
1680	21,93	1057	4	2	3	4,90
1509	11,55	1808	4	3	2	3,32
4769	7,08	1584	4	1	2	2,07
2584	2,34	1185	2	1	3	13,96
4178	8,47	2386	4	3	3	0,55
2208	22,45	684	4	3	3	1,85
2081	4,23	1008	4	1	3	2,10
1385	20,51	2324	1	1	3	6,04
4241	20,32	1116	1	2	3	0,20
3879	19,07	2039	3	1	3	0,08
4024	10,84	559	4	1	3	3,57
3845	10,40	715	2	3	2	4,88
4452	17,52	1494	3	3	3	4,64
1815	2,43	5545	3	2	3	2,03
3464	1,82	8221	3	2	3	6,41
4734	19,60	1484	4	1	2	2,18
4355	5,44	704	3	1	2	5,43
1211	15,55	1725	3	3	3	4,57
2178	22,47	2932	2	2	2	0,80
3244	6,43	1137	5	2	1	8,43
1487	16,25	4367	1	3	3	2,28
858	18,59	4702	3	2	3	11,07
5559	23,07	2028	4	2	3	3,70
8395	9,53	1082	4	3	3	12,82
2471	19,74	931	2	2	3	0,12
1037	5,67	1461	4	3	3	0,98
1653	14,23	2672	2	1	3	0,47
2035	4,77	4736	1	3	1	0,97
5718	18,75	568	3	2	2	4,15
1991	16,09	1011	3	1	3	2,67
2062	5,12	913	1	1	3	0,50
3669	20,90	2859	6	1	3	7,46
2026	8,06	1566	4	3	2	4,43
2884	5,08	2660	4	3	3	0,31
5876	12,02	1078	2	3	3	2,86
3527	0,63	2232	4	2	3	0,19
3188	8,79	1656	3	2	3	9,34
5668	18,61	1867	3	1	2	1,54

1985	20,49	5256	3	2	3	37,27
5456	5,01	484	5	1	2	12,78
2285	7,12	513	1	3	3	1,00
2053	23,32	2725	4	2	2	7,61
4565	1,45	1699	3	1	3	1,71
1285	6,07	530	6	1	3	2,61
5549	14,10	1911	2	1	2	4,29
1135	0,87	1804	2	3	3	0,68
2529	15,04	2664	2	2	3	4,61
3622	8,28	5012	1	1	3	0,70
2176	7,89	2943	4	3	3	4,01
1055	14,30	1143	5	2	3	0,66
966	19,20	1174	2	1	2	0,17
2699	21,09	973	3	1	3	1,50
3864	17,81	647	2	2	2	2,82
1806	21,45	547	3	1	3	9,19
6330	11,48	799	3	2	3	0,38
5052	4,96	3106	3	2	3	4,18
4068	21,47	4184	1	2	3	1,15
4856	5,26	3773	2	1	3	1,79
3474	8,73	844	4	2	3	0,64
4810	8,03	2525	2	1	2	1,66
4253	16,43	1351	3	1	3	0,01
10312	20,64	590	1	3	3	8,40
3036	10,30	938	5	3	2	1,58
6136	18,98	805	1	1	2	8,88
666	8,23	4137	3	3	3	2,24
3232	16,05	1958	4	1	3	15,38
11788	17,07	1525	2	3	3	0,28
1878	3,61	1275	4	2	2	0,90
7062	15,50	3262	2	1	2	3,43
3697	2,89	2762	2	1	3	1,26
1919	14,98	4105	3	3	2	4,40
3812	6,59	1773	2	2	3	0,02
6888	21,04	6613	5	3	1	0,03
1824	20,28	1442	2	2	2	2,35
5782	19,28	892	2	2	2	11,44
7312	6,50	2291	2	2	2	1,03
6178	16,48	757	4	3	3	6,90
1495	9,07	3877	3	2	3	4,03
6156	1,92	1314	6	1	2	12,27
2713	5,92	1232	5	2	2	1,24
2775	16,83	1114	3	3	3	0,17
6938	1,16	989	2	1	3	5,80
2429	14,24	2501	3	2	3	4,54
3744	7,30	2142	3	1	3	4,44
3941	13,40	1776	1	1	3	8,55
3763	3,26	2526	5	1	3	1,30
3455	10,80	1170	6	2	1	3,74
1722	21,81	1188	2	2	1	1,59

565	21,67	1004	1	1	2	0,76
4288	2,03	2219	2	1	3	4,63
3363	6,52	1248	5	1	3	4,83
2354	15,34	2148	1	1	2	3,10
2512	14,85	2373	6	2	3	0,54
1634	1,10	3376	5	1	3	18,14
4129	10,56	859	4	2	2	1,76
4884	6,20	1962	2	2	3	5,91
4939	15,15	1043	1	2	2	6,81
2316	12,20	2433	2	1	3	3,21
1597	17,76	1006	1	3	3	3,15
1338	7,84	1096	3	2	2	7,44
7807	11,87	2010	4	2	3	0,86
2862	15,22	3757	4	1	3	3,60
3041	5,33	2754	2	2	3	0,15
8694	18,90	2638	4	1	3	11,00
1092	11,17	2165	2	2	3	12,31
2708	3,23	3336	2	2	2	1,07
1317	8,58	909	6	3	1	3,27
1011	7,66	4091	1	2	3	0,74
2254	15,44	1601	5	1	2	2,73
5041	12,08	5318	2	1	3	2,60
1701	23,19	1937	2	2	3	1,29
2202	14,59	1639	2	2	3	10,47
2733	2,08	4816	1	3	2	4,98
1844	17,59	1467	4	3	3	4,70
5532	19,13	3386	6	1	3	0,33
2948	16,29	1107	2	1	3	2,15
959	2,87	1674	1	1	3	3,68
2261	9,32	751	5	2	2	0,78
10096	16,79	1263	2	1	3	1,46
5759	21,96	3739	1	1	3	0,94
2786	20,79	2184	1	2	3	0,41
2242	22,70	1900	4	1	3	8,19
1182	11,24	527	3	1	2	0,93
2503	19,95	627	2	2	3	4,20
2593	14,90	1843	3	3	3	1,95
2843	5,75	4766	3	3	3	1,99
3423	18,80	1132	3	1	3	0,52
6053	7,77	1216	2	2	3	4,08
712	9,00	562	3	3	3	1,40
2598	20,74	695	2	3	3	1,02
1263	9,73	1705	3	1	3	20,46
3538	17,40	798	4	2	3	2,91
3145	7,07	704	2	3	3	3,80
3120	21,32	1385	5	1	3	3,25
2604	6,15	1827	1	2	3	2,89
3395	22,14	558	2	1	3	0,82
2294	4,37	634	1	1	1	0,59
7079	8,44	899	1	3	3	10,09

3448	7,49	1200	6	2	1	3,98
5406	13,02	1448	4	1	2	0,37
1662	21,24	1917	3	1	3	2,64
4935	18,96	1609	4	3	3	6,73
3628	12,75	869	1	1	3	0,17
1419	19,36	4214	2	1	3	1,48
4207	10,02	1047	2	1	2	1,46
4200	20,30	1991	2	3	3	0,15
2902	18,68	5305	3	1	3	10,18
3256	19,48	822	2	1	2	1,07
1760	17,30	1419	4	1	2	7,24
1075	5,80	1594	1	2	3	15,36
5230	13,74	4077	2	1	3	0,06
7288	17,14	1346	1	2	2	12,53
5613	5,48	982	5	1	3	0,94
2522	1,18	847	3	2	3	0,36
1196	8,84	765	1	2	3	0,39
1879	16,14	1506	3	1	3	3,78
1274	17,48	2172	4	2	3	3,12
2251	10,98	2909	3	2	3	1,22
2410	17,56	2007	5	1	3	20,38
1796	9,39	1734	2	1	2	3,46
1529	3,69	1073	4	3	3	3,46
4829	14,77	2065	4	2	3	3,25
4641	1,40	4475	1	2	2	1,61
2881	11,96	552	4	1	1	1,32
8980	2,95	538	4	2	3	0,13
4406	6,76	1832	2	1	3	0,29
637	6,79	817	3	1	3	7,02
11454	4,72	599	3	1	2	3,77
1104	19,21	1287	4	2	2	5,22
2228	22,64	1861	3	1	3	1,40
1560	9,17	2840	3	2	1	6,97
6691	4,47	1220	1	2	3	0,23
7560	21,86	3371	3	1	2	11,90
598	1,90	911	4	1	3	1,31
4652	12,47	508	4	3	2	2,84
4677	20,21	1664	5	1	2	1,72
2067	12,96	3507	2	1	3	8,10
3025	11,38	2152	2	1	2	4,32
2633	14,26	916	3	1	3	7,14
3750	5,86	2114	1	2	3	0,58
1759	9,82	3292	3	1	3	4,21
3086	20,38	522	3	2	2	1,81
5394	7,21	3135	5	2	3	1,98
5434	14,51	676	1	1	3	7,42
2515	10,81	1043	2	1	3	0,41
2491	8,98	4376	1	1	3	1,01
6017	9,50	5676	1	3	3	7,89
2870	4,82	2990	1	1	3	0,48

1166	18,43	596	2	2	2	6,13
4874	11,67	1353	1	3	3	3,67
6285	10,24	1816	3	1	2	8,86
5812	2,26	1148	2	2	3	0,12
4585	2,31	1280	1	2	3	0,83
4061	21,63	3492	2	3	3	1,77
3799	22,09	792	2	1	3	6,05
1256	5,18	2106	6	3	3	0,94
5662	4,15	1135	1	3	1	2,43
3022	11,86	835	1	2	3	1,27
7683	20,11	2790	1	1	3	2,13
1608	1,46	2191	2	2	2	0,26
936	2,00	1313	2	3	2	0,65
3918	22,98	1228	1	1	2	1,61
5696	9,47	1363	4	2	3	2,34
2076	3,51	629	4	3	3	9,75
4181	12,88	3609	2	2	3	0,74
3760	2,37	1891	1	2	3	0,40
5195	19,64	2734	2	1	3	15,59
3178	11,74	1295	1	2	3	0,59
3355	21,16	3589	3	2	3	0,82
2753	5,57	1177	6	2	3	7,54
2803	4,94	1208	2	1	3	2,53
5474	21,75	2793	3	1	2	3,41
3822	1,87	3314	2	1	3	1,75
4726	15,58	1148	5	2	3	8,50
3201	0,52	1866	1	2	3	3,63
7509	17,27	1606	2	2	3	5,34
2025	19,03	1412	4	1	3	5,06
2145	7,79	1209	5	2	3	1,28
2688	7,39	605	3	1	3	0,96
2211	16,66	1158	1	1	3	3,64
2312	22,87	1417	6	1	3	4,06
3646	19,90	546	1	3	3	0,03
5060	6,68	2704	3	1	2	2,08
6010	8,31	1278	2	2	3	5,01
6210	10,62	1729	2	3	2	2,18
4003	12,46	6823	3	3	3	1,88
1668	13,84	992	5	1	3	2,25
3268	18,86	1824	3	2	2	5,83
1820	10,59	1931	1	1	1	2,06
1208	7,43	3354	2	2	2	4,04
4144	14,45	1372	4	2	3	0,13
2692	3,74	2156	4	2	3	4,51
5213	14,92	1918	3	3	3	0,98
8488	6,40	5443	1	1	2	0,70
1842	11,02	1531	3	1	3	0,01
5114	20,19	2237	2	3	3	2,79
3780	17,80	495	5	1	3	0,89
1324	5,04	5460	5	1	3	19,21



1406	7,14	2481	1	2	2	0,06
2575	2,05	854	4	1	3	0,38
1581	4,42	2277	1	3	3	14,23
3933	23,27	673	3	2	3	2,52
1711	19,52	1717	3	3	3	10,89
6137	15,59	5539	3	2	1	0,27
8111	5,19	885	2	1	2	1,27
787	11,46	1520	2	1	2	11,50
624	1,11	2741	2	1	3	4,00
2807	22,29	1366	2	1	3	3,97
2338	18,67	3993	2	3	3	16,65
6500	13,86	782	2	1	2	0,27
7602	12,63	1897	2	2	3	2,95
2414	3,16	2214	1	1	3	2,74
1773	18,52	499	4	1	3	0,92
508	17,00	2514	2	1	3	0,06
952	22,78	2408	2	1	3	6,01
6787	12,32	2543	6	1	2	6,44
1965	9,93	1970	2	1	2	0,14
5067	11,40	1475	2	1	2	0,07
3055	10,45	1035	1	1	2	0,25
1605	18,51	1373	3	2	3	12,09
830	9,01	850	5	2	3	1,08
902	21,27	856	2	3	3	16,55
1853	8,81	1261	1	2	3	0,58
1640	3,76	761	1	2	3	0,84
3856	5,95	537	4	1	3	0,88
3847	7,88	1621	5	2	1	2,78
815	4,53	961	2	2	3	2,26
2321	7,58	2300	2	3	3	11,99
4685	10,01	3521	4	1	3	9,24
4372	21,49	2687	6	1	2	4,86
1477	14,80	768	2	2	3	10,61
810	8,17	2019	5	2	3	2,17
1892	12,11	1161	4	1	3	2,45
839	12,06	1016	4	1	3	3,09
4230	12,24	2554	3	2	3	2,23
4324	7,92	1431	3	1	3	12,41
4293	3,18	3725	3	1	1	8,07
2218	14,64	3082	2	2	2	2,93
4374	2,40	1121	1	2	3	14,74
2533	18,15	1236	3	2	1	3,95
2541	11,05	2087	2	1	2	1,49
3865	13,32	4482	2	1	3	0,22
2245	13,43	2997	1	1	3	1,59
2388	18,11	2195	1	1	3	3,49
2916	9,35	771	2	1	3	3,36
5503	21,02	1306	2	2	3	5,14
3072	2,65	2548	3	3	3	10,42
4320	13,77	1884	4	3	1	1,53

3519	13,65	5604	2	3	3	2,90
2519	12,36	1406	2	1	2	0,20
2997	7,33	6239	3	3	3	2,37
2921	17,62	1651	2	3	2	6,38
2569	16,32	775	2	1	2	13,62
3125	7,65	3578	3	2	3	11,60
4987	7,41	1226	4	1	3	3,29
5308	4,60	1952	3	2	2	2,51
685	5,21	1269	2	3	2	1,86
4778	10,37	1356	2	1	3	3,37
2441	13,71	2045	1	1	2	2,34
12945	8,74	5788	3	1	3	6,00
5357	17,10	1086	4	1	3	1,08
1479	1,41	872	2	1	2	0,56
3063	13,07	1671	3	2	3	1,90
1937	7,03	632	2	1	3	1,51
3673	11,53	753	1	1	3	3,84
1927	19,01	2101	2	1	1	3,85
3196	2,97	1693	2	2	3	1,12
2761	11,82	946	2	3	3	2,47
1977	2,62	1647	5	2	3	0,08
1622	16,74	1955	3	1	3	0,35
1683	20,55	492	1	1	3	0,34
2835	22,92	873	3	3	3	1,72
3838	21,40	2870	1	2	2	4,76
2350	9,30	746	6	3	3	5,42
3908	4,18	1317	5	2	3	2,28
1224	21,07	9579	3	1	1	0,43
2333	17,33	582	3	1	3	0,03
3566	20,25	2000	2	1	3	0,51
2957	14,71	1821	3	1	3	0,53
4696	15,95	2126	3	2	3	1,05
2970	15,90	6010	3	3	2	6,16
3788	11,25	1239	3	1	2	0,07
4391	23,44	3088	1	1	2	0,13
1204	7,97	3794	3	3	2	0,42
9081	6,92	3272	3	2	3	5,54
7632	4,00	1681	2	2	3	1,54
7383	0,77	985	3	1	3	4,41
2113	9,58	2261	5	2	3	5,79
3281	20,06	680	2	2	2	2,32
4507	16,70	1129	1	1	1	0,62
3095	6,00	636	4	2	2	4,84
1306	8,13	3218	2	2	3	1,35
3047	16,20	712	2	3	3	2,22
1696	13,15	2331	2	2	3	6,36
3453	17,25	1321	3	1	3	1,19
1837	6,18	3144	1	2	2	3,79
6837	23,37	5079	3	2	3	8,82
2279	4,28	7328	4	2	2	10,76

2936	2,78	3666	4	1	3	11,29
1589	17,71	5038	2	3	3	0,97
793	16,28	1037	3	2	3	1,34
5261	9,81	1283	3	1	3	0,00
1782	4,75	1979	3	3	2	1,04
1070	9,92	809	3	1	2	16,34
2854	19,84	4258	2	3	2	1,36
1567	9,21	981	2	1	3	1,46
2486	18,92	1343	1	3	2	2,82
973	14,07	2643	4	1	3	18,63
2124	18,31	4011	1	1	2	5,28
4383	17,43	4559	5	1	3	0,16
1454	13,55	1361	4	3	2	1,10
5573	3,46	1196	4	1	2	0,16
3030	17,48	829	2	2	3	0,23
1991	8,85	959	5	2	3	5,16
2362	19,46	645	1	1	3	3,73
3433	20,87	1339	2	3	2	0,62
1290	9,63	2721	3	2	2	11,33
4298	3,89	1441	2	1	3	3,75
2493	14,43	1118	2	2	2	6,86
9803	21,57	2121	2	3	3	1,21
5014	13,42	2711	2	3	2	14,36
1380	0,82	2879	3	1	3	1,69
2382	6,55	1593	3	1	3	1,74
2384	3,22	585	1	3	3	0,46
987	23,11	1580	4	2	3	1,87
6396	3,40	1162	3	1	2	7,33
2191	5,69	2285	4	1	3	0,26
3218	17,17	2356	1	3	1	0,69
2397	15,47	790	5	1	1	15,04
6633	1,73	2186	1	2	3	0,81
3301	6,49	2490	3	2	2	0,37
1746	19,54	2199	3	1	3	1,58
4091	5,39	1166	4	3	1	4,46
6264	0,57	571	1	1	2	5,33
2377	2,15	1634	1	1	3	1,02
1065	4,11	519	1	3	2	5,04
8237	6,83	1573	1	1	2	3,23
2736	20,00	2572	5	3	1	4,49
2686	0,59	1379	1	1	2	1,87
1444	13,35	1427	2	3	3	4,56
8560	4,47	804	3	1	3	1,67
669	10,85	1941	3	3	3	1,96
3113	22,83	1818	2	2	3	10,84
3884	12,00	1246	4	2	3	0,44
2186	6,30	1855	2	1	3	1,94
1503	23,45	1509	3	2	3	5,27
584	4,33	3111	1	2	3	3,55
3249	13,67	2305	4	1	3	13,64

608	0,65	1258	3	3	3	33,86
1043	2,31	1789	5	3	3	0,03
3589	4,01	866	2	1	3	3,72
1872	5,60	1385	2	2	2	0,23
4280	23,16	655	2	1	3	1,04
4532	15,40	1888	2	3	3	0,46
2117	12,41	733	2	1	3	0,39
1556	13,89	2475	1	2	3	13,27
3348	2,27	919	4	1	2	0,33
9992	8,61	3172	1	1	3	0,02
2927	10,78	1543	2	2	3	1,00
2859	5,84	801	2	1	3	17,55
554	12,13	6276	5	2	2	4,75
5850	12,70	1055	5	2	3	1,04
1953	9,76	1653	1	2	3	2,92
1519	16,58	1184	3	3	2	6,19
1751	20,70	4645	3	1	3	9,59
5858	20,82	1839	1	1	2	3,15
5639	11,89	1080	1	1	3	0,07
6593	22,81	2036	6	2	2	0,72
1859	18,02	2948	1	3	3	1,28
1788	1,05	2111	3	3	3	0,34
4690	1,28	11613	3	3	3	0,66
6575	13,05	672	2	2	3	0,25
4594	3,63	2920	4	3	3	0,12
2203	8,00	3452	5	3	3	0,96
9204	6,65	2249	1	1	2	0,79
2906	20,66	1877	2	1	3	0,54
3827	23,47	924	1	2	3	1,83
4925	9,10	668	2	1	2	0,61
703	10,50	1426	4	1	2	5,12
683	3,53	3538	5	3	2	2,20
3271	1,03	3972	2	2	3	0,28
4419	7,55	1323	4	3	2	2,51
1252	4,55	1415	2	2	2	0,28
2750	14,94	1267	3	1	2	0,28
806	15,67	2816	1	3	3	0,77
2172	16,53	3681	4	1	3	7,57
3906	16,93	736	3	2	3	0,76
3816	1,64	1928	5	1	3	0,14
3436	23,28	2742	5	2	3	2,04
2913	10,42	3266	3	1	3	1,73
3101	1,55	3102	1	1	2	5,21
1368	12,21	1105	2	2	3	4,11
1884	2,20	3062	4	1	3	4,37
1501	19,80	729	3	2	3	0,45
2000	11,93	2313	1	2	3	8,63
3090	4,63	815	2	1	3	4,60
1677	23,09	2254	2	3	2	8,14
5082	3,07	1299	1	3	3	1,56

2232	22,43	1059	3	1	3	8,32
1013	19,42	1985	2	1	3	0,50
6610	14,34	1224	2	1	2	5,88
3981	22,35	1836	6	2	2	3,27
2681	2,72	1748	1	2	3	6,76
4913	5,15	1068	3	2	2	0,49
4303	10,74	699	5	1	3	5,07
1962	18,58	882	2	3	3	4,73
1242	8,49	508	2	1	3	6,08
4838	7,74	2874	3	3	3	0,66
779	8,43	587	4	2	1	0,05
3533	11,65	938	5	2	3	21,64
2771	5,64	2425	4	2	3	6,23
6290	9,54	1850	2	1	3	0,81
4707	6,88	1641	4	1	3	1,89
7435	20,57	1731	1	2	1	0,75
5015	21,73	3249	2	1	3	1,21
4338	12,79	2063	2	1	3	4,71
3236	4,86	785	2	1	3	7,29
5338	16,59	846	2	1	3	3,12
2127	5,51	4665	2	2	2	0,25
7442	13,82	575	2	2	3	7,99
4122	15,87	723	2	2	1	3,01
3134	15,63	1124	2	1	3	0,36
1136	17,53	1850	4	2	3	5,12
5627	4,89	3477	1	1	2	5,95
2108	16,72	7212	5	2	2	0,51
3795	13,30	3831	2	1	3	9,40
3011	10,53	657	5	3	3	0,22
5174	10,19	2229	1	1	3	1,20
2722	10,05	2679	1	3	3	5,72
4410	12,61	490	1	3	3	0,43
3663	14,03	709	4	2	2	10,72
2828	17,68	554	5	2	3	2,56
2445	17,62	615	5	2	3	0,47
1941	15,74	3049	1	2	3	0,04
2269	12,87	3469	3	1	3	13,19
4034	3,29	2634	5	2	3	4,12
3206	19,32	1337	4	2	3	0,57
5967	11,76	4916	2	2	3	4,38
4820	16,46	2911	1	2	3	1,01
5513	23,04	2210	4	1	3	6,31
3151	8,94	935	4	3	3	0,09
2004	5,24	1054	3	3	3	1,84
7741	16,00	726	2	1	3	1,22
3279	4,20	1111	3	1	3	7,38
924	22,17	4042	2	2	2	1,12
3239	14,01	1292	3	2	2	5,56
3596	22,51	3340	3	3	3	5,02
2548	19,07	3781	6	1	2	0,06

2307	0,56	833	1	1	2	2,72
2134	20,45	3323	3	1	2	0,90
2329	21,22	1571	4	2	2	0,76
3252	2,23	2749	3	2	3	6,11
3768	6,36	3851	2	3	3	5,46
3962	11,81	4398	3	1	2	0,20
1232	12,49	820	5	3	3	6,71
2667	12,67	2594	3	1	2	1,09
2272	4,64	2833	4	2	3	6,96
893	16,34	3419	3	1	3	0,44
1363	12,98	1603	2	1	2	1,14
1781	17,06	1613	4	2	3	6,86
3628	3,18	3284	2	3	3	1,06
4350	6,11	4518	4	1	3	1,89
4552	13,10	972	3	1	3	4,69
1980	1,52	1974	1	2	3	3,06
6422	19,94	535	6	1	3	1,44
3014	1,73	773	3	1	2	0,20
3550	10,09	1989	3	2	3	14,11
1541	14,15	1660	3	2	2	2,16
3227	18,45	676	2	1	3	2,46
5904	10,10	958	3	1	2	9,62
1302	9,27	1498	5	1	3	0,98
1547	1,34	2014	2	1	2	0,26
3115	4,43	7858	4	2	3	11,74
3352	22,93	1538	1	1	3	0,48
2728	16,06	1503	3	3	3	1,16
3970	18,19	3203	1	1	3	0,10
1768	15,31	3565	1	2	3	7,68
1623	13,97	2462	2	2	2	0,18
3602	8,77	905	4	3	2	0,00
2954	9,03	1165	2	2	3	5,29
1466	16,02	3444	6	3	3	22,57
2265	8,64	5883	2	1	3	0,16
4004	5,92	3737	1	1	2	0,10
6763	12,30	2439	3	2	3	0,67
4908	18,78	1450	3	3	1	1,62
2433	4,31	779	3	1	3	0,32
1803	19,39	5397	3	1	3	0,87
4605	6,57	5707	2	2	2	0,72
2222	18,29	2346	4	1	3	5,89
1397	20,04	1563	1	1	3	4,96
6452	21,71	811	1	1	2	1,41
3488	20,40	1328	2	2	3	0,88
1706	14,36	502	5	1	3	0,85
2868	22,53	1370	3	1	3	0,08
5525	11,29	2982	4	3	3	23,36
4602	0,51	2269	1	2	3	1,38
3655	7,58	1076	3	2	3	19,89
1670	9,44	1438	5	2	3	0,67

1417	9,70	2499	3	1	3	0,72
2039	18,04	687	4	1	3	4,66
2373	10,47	4972	4	1	2	2,21
2328	9,90	685	1	2	3	2,72
1747	14,08	1010	2	3	3	7,74
2931	2,57	1048	2	3	3	1,76
2455	14,62	1812	1	2	3	1,13
744	8,21	689	1	3	3	5,19
1435	18,64	1483	2	1	2	5,50
7849	12,84	583	2	2	3	3,21
4198	22,59	1022	4	2	3	9,55
3442	4,67	3304	4	3	3	6,43
4494	11,78	530	2	1	3	12,14
1022	2,12	1459	3	3	3	2,05
1736	22,37	3645	2	2	2	1,11
3174	18,24	759	3	1	2	4,85
1159	14,57	1153	1	2	2	9,98
3368	4,79	879	5	2	3	13,76
5421	0,97	2202	2	3	3	1,43
926	1,63	756	2	1	3	1,65
2150	16,60	1696	3	2	1	2,00
1831	15,24	1741	3	3	1	0,42
2461	13,17	638	2	3	3	2,10
1351	23,12	651	4	1	3	2,27
3265	3,72	1099	1	1	3	1,26
3074	1,62	2369	4	1	2	2,16
2896	14,86	1755	6	2	3	1,17
3897	15,43	2351	3	2	2	0,87
4845	9,15	1492	2	2	3	9,08
3194	14,40	2540	1	3	2	5,53
4786	12,58	1761	3	2	3	2,67
1915	11,57	3408	4	1	3	0,79
2818	19,57	2119	1	1	3	5,93
1731	2,80	1478	4	2	3	2,99
517	22,96	2424	3	2	3	5,73
1217	11,62	1349	2	2	3	1,09
2446	14,51	1446	1	1	2	0,18
1193	4,40	4281	1	2	2	1,23
3141	8,56	2896	3	3	3	4,81
1313	8,20	1327	3	2	2	8,22
6836	7,26	3915	1	2	3	0,58
5314	8,32	4301	5	2	3	4,91
2652	12,76	1625	2	1	3	0,54
2090	23,51	1846	4	1	3	0,30
4086	10,25	2934	4	2	3	3,17
1932	19,14	1134	2	2	3	11,71
3654	5,82	662	3	1	3	0,91
2069	10,95	1739	4	1	2	2,63
1299	16,10	927	1	2	3	3,08
7155	9,58	899	1	2	3	5,00

2798	17,75	1179	2	3	2	1,94
3054	1,70	710	2	3	1	2,39
1810	21,85	652	2	2	2	0,12
6489	6,03	1798	4	2	2	4,50
1852	19,25	2273	3	2	3	3,62
6370	3,98	2611	2	1	3	4,27
5329	4,34	618	1	2	2	1,32
3108	9,35	1205	3	1	2	1,57
2636	2,82	482	1	2	2	9,68
1630	21,36	1191	3	1	2	0,91
2662	9,99	2976	6	1	3	3,40
2851	18,40	749	4	2	2	1,96
3615	19,82	1765	3	1	2	1,45
5138	8,37	2032	3	1	3	3,65
3644	18,70	1018	6	1	3	7,01
3403	19,11	1071	2	3	3	0,92
1601	2,76	745	3	1	3	2,38
5953	21,30	1402	1	2	2	0,85
2059	22,03	1065	1	2	3	2,09
2094	8,54	3034	3	3	2	7,11
2721	16,55	2651	1	2	3	9,78
1827	15,84	1550	6	3	2	6,18
2538	7,24	976	1	1	3	4,46
2076	12,66	1767	1	1	3	2,87
4267	3,47	1678	1	2	3	0,21
3374	15,48	1156	2	1	3	7,71
4103	6,04	1977	1	1	3	16,11
4443	17,98	1051	6	2	2	6,09
3341	22,39	6410	2	2	2	15,86
643	21,80	4162	2	1	2	1,06
1046	1,25	1967	2	1	3	8,65
2745	14,65	941	3	1	3	1,42
5772	3,94	3639	1	1	3	2,03
1696	0,76	1122	1	2	3	0,48
6448	2,69	1382	1	3	3	4,35
657	3,96	5840	2	1	2	1,70
5398	0,90	808	3	3	3	0,73
3168	13,95	1172	1	2	3	10,97
4742	7,71	2329	2	2	2	0,11
7111	21,92	2585	4	1	3	3,57
4331	5,72	649	2	2	3	0,05
1344	4,92	950	3	1	3	0,21
1171	3,38	1710	4	2	3	6,56
2197	17,94	1435	1	2	3	0,95
4791	3,70	2226	3	2	3	1,91
3743	22,25	2580	3	3	2	1,96
2467	22,01	516	1	1	3	8,75
6557	13,53	4324	3	3	3	2,84
4636	21,09	907	5	3	3	8,77
3467	14,48	2962	1	3	2	2,30



1890	20,13	2654	2	1	3	12,55
5245	19,16	613	3	2	3	2,38
6113	5,40	1309	2	3	2	3,58
3988	3,66	951	2	2	3	0,77
1688	17,65	1769	4	3	3	9,37
3371	3,57	478	4	1	3	1,39
2847	0,96	680	3	1	3	5,75
1656	6,15	1597	2	2	2	0,63
2085	7,97	606	3	2	2	6,50
4043	10,73	505	5	2	2	0,52
9343	6,33	1948	3	3	3	0,80
2579	5,77	1529	2	2	2	6,54
15961	20,03	1875	5	2	3	2,88
4050	22,31	2133	4	2	3	9,29
1959	10,13	621	5	2	3	3,34
5001	13,00	2295	1	3	1	1,55
8697	4,99	2438	4	2	3	0,64
3635	14,13	826	3	1	2	10,31
3954	19,39	1629	3	2	2	0,10
5159	14,95	1757	2	1	3	0,02
2815	15,26	2025	2	2	2	4,79
2631	0,80	1913	4	2	3	1,60
2647	4,14	987	1	2	2	9,91
5449	16,50	3462	1	1	3	1,70
1617	1,21	2629	3	2	2	0,11
2408	17,37	2377	2	3	2	0,34
3409	2,51	6658	5	1	3	2,61
5205	15,98	2309	2	1	3	1,15
3160	4,88	1257	4	2	3	3,50
1905	9,68	813	4	1	3	7,79
7229	1,94	3139	4	3	3	11,13
6900	7,31	3598	3	2	3	7,16
1913	13,61	793	1	3	2	19,41
3710	18,37	2456	3	2	3	1,75
3727	3,82	1022	1	1	3	5,40
6757	13,46	4034	4	2	2	3,38
4237	10,66	1421	3	1	3	1,33
4432	13,93	3245	3	3	3	0,14
729	15,79	2247	1	3	3	10,23
3690	17,69	2614	4	1	3	2,45
1123	10,99	3010	5	1	3	1,52
4801	22,05	1140	2	2	2	1,37
2812	15,29	902	1	1	3	0,63
2143	6,70	3907	2	2	3	0,16
7020	22,62	3226	4	1	3	0,19
3921	2,66	3886	3	1	3	1,65
4578	2,52	1588	3	2	3	1,80
1362	19,59	1395	4	1	3	3,47
2608	5,72	1515	1	1	3	0,40
3516	21,89	4682	2	2	3	0,56

6047	23,02	1145	1	3	2	0,45
904	10,52	669	1	1	3	0,78
3133	20,35	2810	3	1	3	15,85
3002	11,07	601	2	2	2	3,00
6360	16,39	1924	1	1	3	8,30
878	1,26	3953	1	2	3	1,34
6680	16,91	2849	2	1	3	2,97
1429	15,86	1000	3	3	1	0,99
4111	11,09	1589	4	1	3	5,25
533	21,00	1195	2	3	3	6,79
6234	16,88	542	3	2	3	0,32
2346	20,91	1544	4	2	3	2,50
4310	11,61	593	5	1	3	2,70
3326	9,14	1089	5	2	3	4,33
4526	19,78	1180	3	2	3	3,88
2101	15,03	1803	2	3	3	0,00
2288	12,83	2075	3	3	3	2,44
3946	3,41	566	2	1	3	3,31
959	17,24	2568	2	2	3	13,06
8021	19,89	944	4	1	3	2,36
4095	2,15	2618	1	1	3	0,67
773	20,63	2080	1	2	3	8,28
8815	18,21	2281	1	2	3	1,51
1470	17,95	894	6	3	3	6,92
2454	0,93	3542	1	3	3	2,30
3153	22,87	1470	5	1	3	6,26
1028	20,60	770	4	3	3	0,93
2031	7,68	6061	3	1	3	1,79
4617	4,58	1335	6	1	3	4,10
2237	20,36	2092	3	3	3	27,90
2765	8,88	1033	1	2	3	3,66
2937	15,92	1398	5	2	3	4,17
1109	16,17	2163	2	2	1	5,09
4970	15,01	708	2	1	3	0,01
1517	20,70	969	3	2	3	8,04
7172	23,24	2048	1	2	3	0,57
1790	16,97	1472	3	2	3	1,13
2402	6,41	895	4	3	3	2,59
4559	21,65	1904	4	2	2	9,49
3832	7,83	2138	1	1	2	7,18
3415	21,19	1787	4	3	3	0,70
2225	11,91	1289	1	1	3	2,08
2046	3,92	3067	4	2	2	4,28
3574	2,18	1285	4	1	3	0,65
3293	3,10	2506	2	2	3	2,14
5029	6,62	1882	2	2	2	14,62
2611	1,77	2363	2	2	3	0,31
3481	21,52	1102	1	2	2	1,90
3730	11,71	609	3	3	3	5,62
1998	23,23	572	2	1	3	0,36

2988	10,92	7583	3	2	2	2,81
3163	1,58	2382	3	2	3	1,62
4118	3,00	1619	2	1	3	10,62
1642	22,60	2393	3	2	3	5,64
3497	13,63	3505	1	1	3	0,60
2973	22,21	2359	3	2	3	0,45
4223	8,39	956	2	3	3	6,32
7206	6,73	1031	2	1	3	0,41
4020	1,01	1553	5	2	1	1,41
2670	16,87	1391	1	1	3	0,04
10479	21,78	795	3	3	3	0,55
2552	18,25	868	1	2	3	3,70
4653	12,38	2145	3	3	2	1,31
2358	20,79	1091	3	2	3	1,85
2617	9,11	1318	2	1	2	3,93
2627	22,20	1795	5	3	2	8,14
1248	17,12	1110	4	1	3	7,35
4541	15,09	1701	2	1	3	8,61
2780	19,73	5121	5	1	3	6,58
1545	3,31	475	1	2	2	3,44
3425	9,25	1683	2	1	3	22,68
5836	3,13	1669	3	1	3	4,66
1464	22,76	1497	1	2	2	2,98
1589	4,51	544	5	1	3	0,83
2877	8,10	4882	2	1	3	2,71
745	17,18	2884	3	1	3	7,87
3006	7,48	996	3	3	2	2,65
4216	6,95	486	3	1	2	1,83
1574	3,80	1555	3	2	2	14,23
4169	10,36	1464	2	2	2	1,10
5605	3,03	2558	2	2	3	2,90
3215	6,97	2318	2	1	2	4,24
1766	13,69	875	4	1	2	2,25
1085	6,46	2242	3	1	2	4,25
1278	2,85	837	3	1	3	2,76
1949	4,05	467	4	2	3	0,11
4159	18,73	1127	4	2	1	0,22
4074	15,72	3029	1	2	3	1,63
1353	22,67	1074	3	2	2	17,50
1000	8,90	3165	2	3	3	9,03
3581	13,48	1511	1	1	3	6,51
917	11,32	2056	1	2	2	2,97
1234	12,53	1549	3	2	3	8,94
1971	3,83	1014	3	3	3	0,08
3322	19,70	1782	4	1	2	2,69
4251	1,55	1204	3	1	1	4,94
4458	2,74	891	2	2	3	3,02
3894	7,62	2535	3	2	3	4,31
2158	13,29	4336	2	3	3	2,01
1717	1,38	4268	1	3	3	1,55

7346	5,36	1454	1	1	3	2,58
2546	5,51	3182	2	2	3	1,37
3404	17,91	786	2	1	2	1,29
6532	1,49	2414	5	2	3	0,90
4157	21,39	3559	3	1	2	3,60
5359	7,17	2127	2	3	3	8,71
3081	15,11	1707	4	2	2	3,29
3719	10,21	1558	2	1	3	13,50
4437	11,98	764	1	2	3	0,01
1739	16,36	2341	3	1	3	0,03
4621	21,12	1517	1	2	2	6,65
7932	4,83	1724	2	1	2	6,46
3554	2,59	4787	5	3	2	0,51
3801	17,84	2971	6	2	3	3,86
8063	7,93	702	5	1	3	1,18
8175	13,79	732	5	1	3	0,24
5805	2,45	996	1	3	2	2,01
4265	11,21	3933	4	2	2	26,25
1647	3,34	1871	1	1	3	2,75
5279	20,97	2336	6	2	2	0,29
724	18,14	628	3	3	3	2,66
2595	18,07	3047	4	1	3	6,25
5179	0,68	1331	1	3	3	0,01
1374	18,82	1343	3	1	2	21,40
4975	16,84	3809	4	1	3	4,14
2960	7,22	840	2	2	2	1,56
4489	14,72	3828	4	1	3	18,46
5294	17,21	1996	6	3	2	3,49
576	18,27	643	2	1	3	1,25
754	4,70	3705	1	3	3	0,07
5240	22,23	3158	1	1	3	3,82
2994	7,45	1750	1	1	2	0,35
4469	17,89	2603	4	3	3	7,95
835	9,63	1522	1	3	2	0,38
547	9,65	1151	3	1	2	0,62
1903	10,15	822	1	2	3	17,19
2789	15,07	6502	1	1	3	0,05
2345	19,68	1199	3	2	2	0,30
2302	13,23	1241	3	2	3	3,03
3680	12,32	551	2	1	2	2,29
2966	11,11	2854	1	3	3	3,18
3180	22,73	2050	2	3	3	1,71
3477	18,87	1479	3	1	3	1,17
523	1,87	743	3	1	1	0,84
3334	14,17	1360	3	2	3	10,53
2702	9,88	991	2	3	3	1,19
4759	12,51	740	3	2	3	8,47
4961	20,09	878	3	1	1	4,78
3389	20,44	1857	2	2	3	0,60
874	11,39	3019	1	2	3	5,67

3574	1,68	2578	2	2	3	3,53
2137	2,49	4933	2	2	3	3,94
3775	12,57	2447	2	2	3	5,86
2741	5,54	4420	5	1	3	1,81
1116	20,86	1581	2	3	3	1,68
2654	8,36	832	1	3	2	0,04
945	14,55	1575	1	1	3	2,13
2274	0,84	624	1	2	3	3,90

