



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

**Διερεύνηση Μεθοδολογιών για την αλληλεπίδραση στην
εφαρμογή και απόδοση των Μέτρων Ελέγχου του Ρίσκου στη
ναυτιλία**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΚΟΚΚΙΝΑΚΗ ΓΕΩΡΓΙΟΥ

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

Αθήνα, Μάιος 2014

**Διερεύνηση Μεθοδολογιών για την αλληλεπίδραση στην
εφαρμογή και απόδοση των Μέτρων Ελέγχου του Ρίσκου στη
ναυτιλία**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών

Συγγραφέας: Κοκκινάκης Γεώργιος

Επιβλέπων Καθηγητής: Βεντικός Νικόλαος

Μέλη Επιτροπής: Παπανικολάου Απόστολος
Λυρίδης Δημήτριος

Αθήνα, Μάιος 2014

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ.Βεντίκο Νικόλαο για την δυνατότητα να ασχοληθώ με έναν τομέα που με ενδιαφέρει ιδιαίτερα, καθώς και για την συνεχή καθοδήγηση και το άψογο κλίμα συνεργασίας σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα άλλα δύο μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τους κυρίους Παπανικολάου Απόστολο και Λυριδη Δημήτριο.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την οικογένειά μου καθώς και τους συμφοιτητές μου για την ηθική και όχι μόνο υποστήριξή τους, σε όλη την ακαδημαϊκή μου πορεία.

Σύνοψη

Ένας τρόπος για να εξασφαλιστεί ότι λαμβάνονται μέτρα πριν συμβεί ένα ατύχημα στη ναυτιλία είναι η χρήση προληπτικών μεθόδων, όπως η Τυπική Αποτίμηση της Ασφάλειας (Formal Safety Assesement- FSA). Η μέθοδος αυτή, έχει περιγραφεί ως μια ορθολογική και συστηματική διαδικασία για την αξιολόγηση των κινδύνων που συνδέονται με τις δραστηριότητες στη ναυτιλία, αλλά και για την αξιολόγηση του κόστους και των οφελών των επιλογών του IMO για τη μείωση αυτών των κινδύνων. Η FSA, η οποία συνοψίζεται σε 5 βήματα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για να βοηθήσει την αξιολόγηση των νέων κανονισμών ή να συγκρίνει τις προτεινόμενες αλλαγές με τα υπάρχοντα πρότυπα.

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η εύρεση και ανάπτυξη μεθοδολογιών για τον υπολογισμό της απόδοσης που επιφέρει η ταυτόχρονη εφαρμογή συνδυασμού Μέτρων Ελέγχου του Ρίσκου (Risk Control Options - RCO), δηλαδή της συνολικής μείωσης που επιτυγχάνουν ως προς την πιθανότητα να πραγματοποιηθεί ένα ατύχημα στη ναυτιλία. Η βασική ιδέα για την πραγματοποίηση της διπλωματικής προέκυψε από το 3ο και 4ο βήμα της FSA που σχετίζεται με την επιλογή των RCO, και απ' το γεγονός της απουσίας στις FSA όλων των κατηγοριών πλοίων που μελετήθηκαν (Bulk Carriers, Tankers, Container, LNG, Passenger Ships, Cruise Ships), αναλυτικής περιγραφής της διαδικασίας υπολογισμού της αποτελεσματικότητας συνδυασμού RCO, ώστε να είναι δυνατή η εφαρμογή περισσότερων του ενός Μέτρου σε περίπτωση που υπάρχει η αντίστοιχη αναγκαιότητα.

Συγκεκριμένα, οι υπολογισμοί αυτοί έγιναν εφαρμόζοντας τις εξής μεθοδολογίες:

- A) Με την χρήση δεντροδιαγραμμάτων (event trees).
- B) Με την χρήση της θεωρίας του χαρτοφυλακίου, παραλληλίζοντας τα χαρτοφυλάκια χροεγγράφων με χαρτοφυλάκια RCO και υπολογίζοντας τα αποδοτικά χαρτοφυλάκια.
- Γ) Με μεθόδους αλληλεπίδρασης των RCO βάση της αποτελεσματικότητάς τους
- Δ) Αναπτύσσοντας ένα μοντέλο που βασίζεται στις αρχές της θεωρίας των Συζεύξεων (Copulas)
- Ε) Αναπτύσσοντας ένα μοντέλο που στηρίζεται στις βασικές αρχές του θεωρήματος του Bayes.

Οι παραπάνω μεθοδολογίες μπορούν να αποτελέσουν οδηγό για την πραγματοποίηση υπολογισμών της αλληλεπίδρασης που αφορά την απόδοση πολλαπλών

Μέτρων Καταστολή του Ρίσκου. Αν και στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής επικεντρωθήκαμε σε δεδομένα για τα RCO που αντλήσαμε από την FSA των κρουαζιεροπλοίων, οι μεθοδολογίες μπορούν κάλλιστα να εφαρμοστούν και σε άλλες κατηγορίες πλοίων .

Λέξεις Κλειδιά: <<Μέτρα Ελέγχου Ρίσκου, Αλληλεπίδραση συνδυασμού μέτρων ελέγχου ρίσκου, Συζεύξεις, Ασφάλεια>>

Abstract

One way to ensure that action is taken before an accident occurs in a shipping is the use of preventive methods, such as the Formal Safety Assessment (FSA). This method has been described as a rational and systematic process for assessing the risks associated with the activities in shipping and also for assessing the costs and benefits of IMO 's options for reducing those risks . FSA, which is summarized in 5 steps, can be used as a tool to evaluate new regulations or to compare the proposed changes to the existing standards .

The purpose of this thesis is to investigate and develop methods to calculate the efficiency regarding the simultaneous application of a combination Risk Control Options (RCO) and the total reduction of an accident's possibility to be carried out in shipping. The main idea of this thesis came from the 3rd and 4th step of the FSA associated with the selection of RCO and mainly from the absence of a detailed description regarding the calculation process of RCO's combination efficiency in FSA's studied (Bulk Carriers, Tankers, Container, LNG, Passenger Ships, Cruise Ships).

Specifically, calculations were made by applying the following methods:

- A) Using Event trees
- B) Using of modern portfolio theory, by creating RCO's portfolios and calculating the efficient frontier.
- C) Using methods based on the interaction of RCO effectiveness
- D) Using a model based on the principles of Copulas
- E) Using a model based on the principles of Bayes' theorem

These methodologies may provide guidance for performing calculations regarding the interaction on the performance of multiple repression of Risk. Although the scope of this thesis focused on data for RCO taken from the cruise ships' FSA, methodologies may well be applied to other classes of ships.

Keywords: <<Risk Control Options, Risk Control Options Interaction, Copulas, Safety>>

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες

Σύνοψη

Περιεχόμενα

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
2	Formal Safety Assessment (FSA)	15
2.1	Εισαγωγή	15
2.2	Περιγραφή των βασικών βημάτων της FSA.....	16
3	Δέντρο Γεγονόντων (Event Tree)	24
3.1	Περιγραφή της Event Tree Analysis (ETA)	24
3.2	Αριθμητικός υπολογισμός συνδυασμού Risk Control Options (RCO) μέσω Event tree	29
3.2.1	Εισαγωγή	29
3.2.2	Ανάπτυξη μεθοδολογίας υπολογισμού της αλληλεπίδρασης των RCOs	29
3.2.3	Περιγραφή των 3 Risk Control Options (RCOs) που χρησιμοποιήθηκαν	32
3.2.4	Γενικές αρχές για τον υπολογισμό της μείωσης του ρίσκου (ΔR) για συνδυασμό RCOs με χρήση event trees	34
4	Θεωρία Χαρτοφυλακίου	48
4.1	Εισαγωγή	48
4.2	Υπολογισμός συνδυασμού RCO με Portfolio Analysis	62
4.2.1	Εισαγωγή	62
4.2.2	Αριθμητικός υπολογισμός	63
5	.Μέθοδοι αλληλεπίδρασης των RCO με βάση την αποτελεσματικότητάς τους	87
5.1	Εισαγωγή	87
5.2	Περιγραφή των δύο μεθοδολογιών υπολογισμού της αλληλεπίδρασης	88
5.3	Αριθμητικοί υπολογισμοί για Cruise Ships (κρουαζιερόπλοια)	92
6	Συζεύξεις (COPULAS)	100
6.1	Εισαγωγή	100
6.2	Βασικές Έννοιες	100
6.3	Αρχιμήδειες Συζεύξεις (Archimedean Copulas)	102

6.4	Παρουσίαση του μοντέλου	104
6.4.1	Και τα 2 RCOs προκαλούν μείωση, των οποίων η μέση τιμή της κατανομής κυμαίνεται από 10-20%	106
6.4.2	Το RCO ₁ και το RCO ₂ προκαλεί μείωση των οποίων η μέση τιμή της κατανομής κυμαίνεται στα διαστήματα 10-20% και 20-30% αντίστοιχα.....	110
6.4.3	Και τα 2 RCO προκαλούν μείωση, των οποίων η μέση τιμή της κατανομής κυμαίνεται από 20-30%	113
6.4.4	Και τα 2 RCOs προκαλούν μείωση, των οποίων η μέση τιμή της κατανομής κυμαίνεται από 2-10%	117
6.5	Αριθμητικός υπολογισμός της απόδοσηςγια τον συνδυασμό RCO στην περίπτωση των Cruise Ships.....	123
7	Πιθανολογική Εξαγωγή Συμπερασμάτων κατά Bayes	127
7.1	Βασικές έννοιες πιθανοτήτων	127
7.2	Παρουσίαση του μοντέλου	129
7.3	Αριθμητικός υπολογισμός της αποδοτικότητας συνδυασμών των τριών RCO με τη βοήθεια του μπαεζιανού μοντέλου	130
7.3.1	Συνολική (%) μείωση των θανάτων με τη χρήση των RCO ₁ και RCO ₂	132
7.3.2	Συνολική (%) μείωση των θανάτων με τη χρήση των RCO ₁ και RCO ₃	135
7.3.3	Συνολική (%) μείωση των θανάτων με τη ταυτόχρονη χρήση των RCO ₁ , RCO ₂ και RCO ₃	138
8	Συγκεντρωτικά Συμπεράσματα	142
	Βιβλιογραφία	
	Παράρτημα Α	
	Παράρτημα Β	

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1-1: Μέγεθος Παγκόσμιου Στόλου σε αριθμό πλοίων	8
Σχήμα 1-2: Μέγεθος Παγκόσμιου Στόλου σε τοννάζ από το 1900-2010 και ποσοστιαία απεικόνιση ατυχημάτων ως προς τον παγκόσμιο στόλο	9
Σχήμα 2-1: Η δομή με τα 5 βήματα της FSA.	15
Σχήμα 2-2: Τυπικό παράδειγμα event tree για μελέτη ασφάλειας για cruise ships.	19
Σχήμα 2-3: Τυπικό παράδειγμα διαγράμματος F-N για containership.	20
Σχήμα 3-1: μορφή δυαδικού event tree.....	25
Σχήμα 3-2: μορφή event tree με πολλαπλά κλαδιά (από FSA για RO-PAX)	26
Σχήμα 3-3: Παραδειγμα αλληλουχίας γεγονότων ενός event tree	27
Σχήμα 3-4: event tree για την περίπτωση ατυχήματος σύγκρουσης (collision).....	30
Σχήμα 3-5: Το μετακεντρικό ύψος ενός πλοίου	32
Σχήμα 3-6: Απεικόνιση του ύψους εξάλλων (freeboard)	33
Σχήμα 3-7: το event tree με για το σενάριο βάσης (baseline scenario)	35
Σχήμα 3-8: οι αλλαγές στο event tree με την εφαρμογή του RCO_1	39
Σχήμα 3-9: οι αλλαγές στο event tree με την εφαρμογή του RCO_3	41
Σχήμα 3-10: οι αλλαγές στο event tree με την εφαρμογή των RCO_1 και RCO_3	43
Σχήμα 3-11: οι αλλαγές στο event tree με την εφαρμογή των RCO_1 , RCO_2 και RCO_3	45
Σχήμα 4-1: Επίδραση του χαρτοφυλακίου για χαρτοφυλακιο με δύο χρεογράφα	52
Σχήμα 4-2: Η επίδραση του συντελεστή συσχέτισης στην καμπύλη αποδοτικών χαρτοφυλακίων 2 χρεογράφων	54
Σχήμα 4-3: Παράδειγμα για ιεραρχική ανάλυση απόφασης.....	56
Σχήμα 4-4: Αποδοτικά Χαρτοφυλάκια RCO	69
Σχήμα 4-5: Αποδοτικά Χαρτοφυλάκια $RCOs$	71
Σχήμα 4-6: Κατανομή της απόδοσης των μέτρων RCO_1 και RCO_2	72
Σχήμα 4-7: Κατανομή της απόδοσης των μέτρων RCO_3	73
Σχήμα 4-8: Επιλογή του λ που μετατρέπει τα RCO_1 και RCO_2 σε κανονική κατανομή	74
Σχήμα 4-9: Επιλογή του λ που μετατρέπει τα RCO_3 σε κανονική κατανομή.....	74
Σχήμα 4-10: ANDERSON-DARLING τεστ για έλεγχο κανονικότητας των RCO_1 και RCO_2	78
Σχήμα 4-11: ANDERSON-DARLING τεστ για έλεγχο κανονικότητας του RCO_3	78
Σχήμα 4-12: Αποδοτικά Χαρτοφυλάκια $RCOs$	82
Σχήμα 4-13: Επιλογή της παραμέτρου λ για το RCO_3	83
Σχήμα 4-14: Επιλογή της παραμέτρου λ για τα RCO_1 και RCO_2	83
Σχήμα 4-15: ANDERSON-DARLING τεστ για έλεγχο κανονικότητας των RCO_1 και RCO_2	84
Σχήμα 4-16: ANDERSON-DARLING τεστ για έλεγχο κανονικότητας του RCO_3	85
Σχήμα 4-17: Αποδοτικά Χαρτοφυλάκια RCO	85
Σχήμα 5-1: Αριθμός των θανάτων που αποτράπηκαν	92
Σχήμα 5-2: ποσοστιαία μείωση των θανάτων	93
Σχήμα 5-3: Σύγκριση των αποτελεσμάτων για τις μεθόδους (1) και (2).....	95
Σχήμα 5-4: Σύγκριση των αποτελεσμάτων των εναλλακτικών συνδυασμών	97
Σχήμα 5-5: Σύγκριση των αποτελεσμάτων των εναλλακτικών συνδυασμών	98

Σχήμα 6-1: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	106
Σχήμα 6-2: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	107
Σχήμα 6-3: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	107
Σχήμα 6-4: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	108
Σχήμα 6-5: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	108
Σχήμα 6-6: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	109
Σχήμα 6-7: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	109
Σχήμα 6-8: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	110
Σχήμα 6-9: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	111
Σχήμα 6-10: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	111
Σχήμα 6-11: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	112
Σχήμα 6-12: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	112
Σχήμα 6-13: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	113
Σχήμα 6-14: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	114
Σχήμα 6-15: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	114
Σχήμα 6-16: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	115
Σχήμα 6-17: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	115
Σχήμα 6-18: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	116
Σχήμα 6-19: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	116
Σχήμα 6-20: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	117
Σχήμα 6-21: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	118
Σχήμα 6-22: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	118
Σχήμα 6-23: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	119
Σχήμα 6-24: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	119
Σχήμα 6-25: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	120
Σχήμα 6-26: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	120
Σχήμα 6-27: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	121
Σχήμα 6-28: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α	121
Σχήμα 6-29: Τιμή της παραμέτρου α για τις διάφορες τιμές της	122
Σχήμα 6-30: Ιστόγραμμα της κατανομής της τελικής μείωσης, που προκαλεί η εφαρμογή των RCO_1 και RCO_3	124
Σχήμα 6-31: Ιστόγραμμα της κατανομής της τελικής μείωσης, που προκαλεί η εφαρμογή των RCO_1 και RCO_2	125
Σχήμα 7-1: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των R_1 και R_2	131
Σχήμα 7-2: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π) του R_3	131
Σχήμα 7-3: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π) των $P(A/R_1)$, $P(A/R_2)$...	133
Σχήμα 7-4: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της $P(A/R_1, R_2)$	134
Σχήμα 7-5: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της $P(A/R_3)$	136
Σχήμα 7-6: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της $P(A/R_1, R_3)$	137
Σχήμα 7-7: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της $P(A/R_1, R_2, R_3)$	139
Σχήμα 8-1: Συγκριτική απεικόνιση της αποτελεσματικότητας του συνδυασμού των RCO_1 και RCO_3 για τις διάφορες μεθοδολογίες	145
Σχήμα 8-2: Συγκριτική απεικόνιση της αποτελεσματικότητας του συνδυασμού των RCO_1 και RCO_2 για τις διάφορες μεθοδολογίες	146
Σχήμα 8-3: Συγκριτική απεικόνιση της αποτελεσματικότητας του συνδυασμού των RCO_1 , RCO_2 και RCO_3 για τις διάφορες μεθοδολογίες	146

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2-1: Κατάταξη περιστατικών με βάση τη σοβαρότητα των συνεπειών του.	17
Πίνακας 2-2: Κατάταξη περιστατικών με βάση την συχνότητά τους.	17
Πίνακας 2-3: Τελική κατάταξη των περιστατικών με βάση το ρίσκο τους	18
Πίνακας 2-4: Παράδειγμα πίνακα αλληλεξάρτησης στην περίπτωση 4ων RCOs.	21
Πίνακας 3-1: Υπολογισμοί της πιθανότητας των επιμέρους συνεπειών	28
Πίνακας 3-2: Συχνότητα ατυχημάτων ανά έτος, αναμενόμενοι θάνατοι ανά ατύχημα για κάθε σενάριο	37
Πίνακας 3-3: Υπολογισμοί των αναμενόμενων θανάτων ανά έτος, με την εφαρμογή του RCO_1	39
Πίνακας 3-4: Υπολογισμοί των αναμενόμενων θανάτων ανά έτος, με την εφαρμογή του RCO_3	41
Πίνακας 3-5: Υπολογισμοί των αναμενόμενων θανάτων ανά έτος, με την εφαρμογή του RCO_1 και RCO_3	43
Πίνακας 3-6: Υπολογισμοί των αναμενόμενων θανάτων ανά έτος, με την εφαρμογή του RCO_1 , RCO_2 , RCO_3	45
Πίνακας 4-1: Αναμενόμενη Απόδοση και Κίνδυνος των χρεογράφων A, B	52
Πίνακας 4-2: Κλίμακα χρησιμοποιούμενη για συγκρίσεις ανά ζεύγη	57
Πίνακας 4-3: Τιμές για τις συγκρίσεις κατά ζεύγη	57
Πίνακας 4-4: Θεωρητικός πίνακας σχετικών βαρών	59
Πίνακας 4-5: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση των RCO που χρησιμοποιήθηκαν	63
Πίνακας 4-6: Κατά ζεύγη συγκρίσεις ως προς το κριτήριο $\Delta C \Delta R$	64
Πίνακας 4-7: Προτεραιότητες των μέτρων ως προς το κριτήριο $\Delta C \Delta R$	64
Πίνακας 4-8: Κατά ζεύγη συγκρίσεις ως προς το κριτήριο $\Delta C - \Delta B \Delta R$	64
Πίνακας 4-9: Προτεραιότητες των μέτρων ως προς το κριτήριο $\Delta C - \Delta B \Delta R$	64
Πίνακας 4-10: Κατά ζεύγη συγκρίσεις ως προς το κριτήριο $\Delta B \Delta C$	65
Πίνακας 4-11: Προτεραιότητες των μέτρων ως προς το κριτήριο $\Delta B \Delta C$	65
Πίνακας 4-12: Ποσοστά Βαρύτητας των κριτηρίων ανά χαρτοφυλάκιο	65
Πίνακας 4-13: Ποσοστά βαρύτητας των RCOs ανά χαρτοφυλάκιο	66
Πίνακας 4-14: Απόδοση των χαρτοφυλακίων RCOs	66
Πίνακας 4-15: Τυπική απόκλιση των χαρτοφυλακίων RCOs	67
Πίνακας 4-16: Απόδοση των χαρτοφυλακίων RCOs	69
Πίνακας 4-17: Τυπική απόκλιση των χαρτοφυλακίων RCOs	70
Πίνακας 4-18: Δεδομένα που προκύπτουν μετά τον Box Cox μετασχηματισμό	75
Πίνακας 4-19: Συγκεντρωτικά Βάρη για τα επιλεγμένα κριτήρια	79
Πίνακας 4-20: Βάρη των RCO για τα χαρτοφυλάκια	79
Πίνακας 4-21: Απόδοση των χαρτοφυλακίων RCOs	80
Πίνακας 4-22: Τυπική απόκλιση των χαρτοφυλακίων RCOs	81
Πίνακας 5-1: Τα μέτρα μείωσης των εκπομπών που χρησιμοποιήθηκαν	89
Πίνακας 5-2: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τις μεθόδους (1) και (2)	91
Πίνακας 5-3: Σύγκριση των αποτελεσμάτων για τις μεθόδους (1) και (2)	91
Πίνακας 5-4: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τις μεθόδους (1) και (2)	94
Πίνακας 5-5: Σύγκριση των αποτελεσμάτων για τις μεθόδους (1) και (2)	94
Πίνακας 6-1: Τιμή παραμέτρου α για τις διαφορές τιμές της μείωσης που προκαλούν τα RCO	122

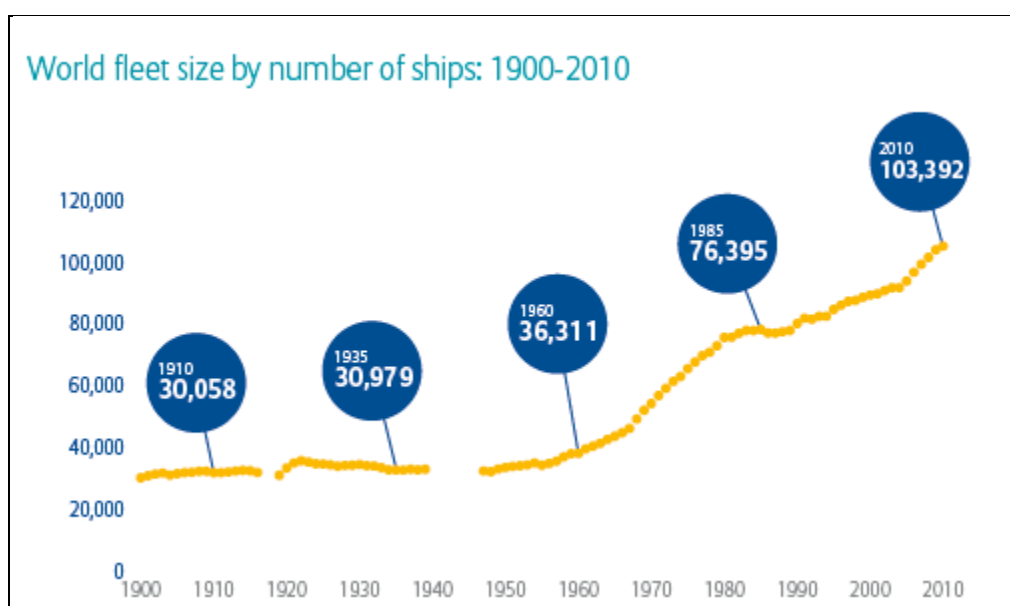
Πίνακας 6-2: Πίνακας 6-2: οι παράμετροι K, Θ των κατανομών γάμμα που περιγράφουν τα RCOs	123
Πίνακας 7-1: Οι παράμετροι K, Θ των κατανομών γάμμα που περιγράφουν τα RCO	130
Πίνακας 8-1: Αποτελεσματικότητα των RCO	144
Πίνακας 8-2: Συγκεντρωτικά η αποτελεσματικότητα των συνδυασμών των RCO που	144

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο:

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

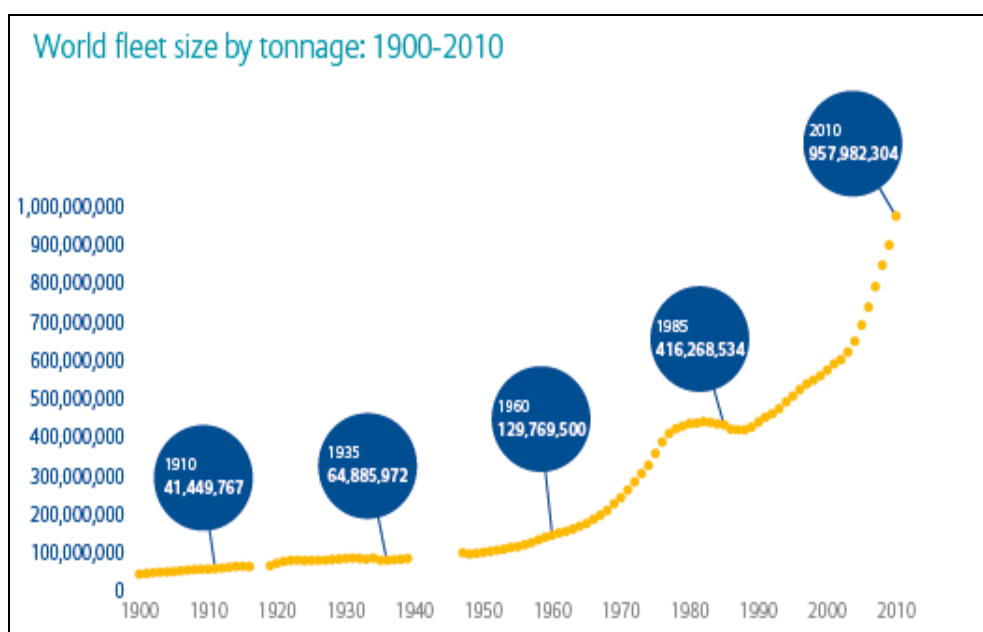
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις μέρες μας η ασφάλεια αποτελεί βασική προϋπόθεση σε τομείς όπως η οικονομία, η βιομηχανία, η ναυτιλία και η αεροπορία, για την αποφυγή ατυχημάτων που αφορούν την ανθρώπινη ζωή, την ανθρώπινη περιουσία και το περιβάλλον. Συγκεκριμένα η ναυτιλία στα 100 χρόνια που μεσολάβησαν από την απώλεια του Τιτανικού, έχει εργαστεί σταθερά για τη βελτίωση των επιδόσεων ασφάλειας, ώστε οι 23 εκατομμύρια τόνοι φορτίου και 55.000 επιβάτες κρουαζιερόπλοιων που ταξιδεύουν με πλοία κάθε ημέρα να πραγματοποιούνται με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα, στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων.



Σχήμα 1-1: Μέγεθος Παγκόσμιου Στόλου σε αριθμό πλοίων

Ειδικότερα, παρά την αύξηση του παγκόσμιου στόλου σε πάνω από 100.000 πλοία το 2010, και μια συνολική χωρητικότητα του στόλου που πλησιάζει τώρα τα 1 δισεκατομμύριο κόντων, κάτι που αποτυπώνεται στα Σχήματα 1-1, 1-2, τα ατυχήματα στον κλάδο της ναυτιλίας έχουν μειωθεί σημαντικά. Συγκεκριμένα, από 1 ατύχημα κάθε 100 πλοία το 1912, έχουν μειωθεί σε 1 ανά 670 πλοία το 2009 (Lloyd's Register Fairplay, World Fleet Statistics 1900-2010).



Σχήμα 1-2: Μέγεθος Παγκόσμιου Στόλου σε τοννάξ από το 1900-2010 και ποσοστιαία απεικόνιση ατυχημάτων ως προς τον παγκόσμιο στόλο

Ωστόσο, παρόλες τις προσπάθειες και τα μέτρα για την αποφυγή των ατυχημάτων, λάθη, σφάλματα και αστοχίες εξακολουθούν να συμβαίνουν και θα συμβαίνουν πάντα, καθώς καμία ανθρώπινη δραστηριότητα και κανένα μηχάνημα δεν μπορεί να είναι απόλυτα ασφαλή.

Η ναυτιλιακή βιομηχανία υπόκειται σε αυστηρές ρυθμίσεις, με μεγάλο αριθμό οργανισμών που είναι υπεύθυνοι για διαφορετικές πτυχές της ασφάλειας. Το κύριο σώμα αποτελεί ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) που σχηματίστηκε το 1948 ως οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών και έχει οδηγήσει στην υιοθέτηση πολλών διεθνών κανονισμών. Πριν από τη δημιουργία του IMO, η πρώτη σύμβαση SOLAS, που προήλθε από το ατύχημα του Τιτανικού και εγκρίθηκε το 1914, σχημάτισε μια συνθήκη ορόσημο για τη θαλάσσια ασφάλεια. Μεταξύ άλλων, η συνθήκη επιδιώκει τη βελτίωση της σχεδίασης και του εξοπλισμού των πλοίων, τη βελτίωση των

συστημάτων πυρασφάλειας, το σχεδιασμό της δορυφορικής επικοινωνίας, την οργάνωση σχεδίων διάσωσης, αλλά και την εκπαίδευση του πληρώματος. Μεταγενέστερες αναθεωρήσεις της συνθήκης, σε συνδυασμό με άλλες βασικές συμβάσεις του IMO , όπως ο Διεθνής Κανονισμός Αποφυγής Συγκρούσεων στη Θάλασσα (COLREG) και η Διεθνής Σύμβαση για τη Γραμμή Φόρτωσης, έχουν καταστήσει αυστηρότερους τους κανόνες ασφαλείας. Πέρα από τον IMO, "φορείς" που παίζουν ρόλο στην ανάπτυξη, υλοποίηση και εφαρμογή πολιτικών που σχετίζονται με τη θαλάσσια ασφάλεια αποτελούν τα κράτη σημαίας (flag states), τα κράτη λιμένος (port states), οι νηογνώμονες, ο IACS (International Association of Classification Societies) και διεθνείς φορείς όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση, πλοιοκτήτες, ναυπηγεία και ασφαλιστικές εταιρείες.

Η ίδια η ναυτιλιακή βιομηχανία έχει διαδραματίσει ενεργό ρόλο στην βελτίωση των προδιαγραφών ασφαλείας, όπως για παράδειγμα οι ιδιοκτήτες τάνκερ που έθεσαν πρότυπα μετά από την περιβαλλοντική καταστροφή του Exxon Valdez, αυστηροποιώντας τις διαδικασίες διαχείρισης κινδύνου και για την ίδρυση λεπτομερή εξέταση συστήματα , αναγκάζοντας και άλλους να υιοθετήσουν παρόμοια πρότυπα ασφαλείας.

Τέλος, ένας από τους πιο σημαντικούς κανονισμούς θαλάσσιας ασφαλείας σε παγκόσμιο επίπεδο θεσπίστηκε από τον IMO και αφορά στον Διεθνή Κώδικα Διαχείρισης για την Ασφαλή Λειτουργία των Πλοίων και την Προστασία του Θαλασσιού Περιβάλλοντος (International Safety Management Code – ISM Code). Ο Κώδικας ISM αναπτύχθηκε από τον IMO ύστερα από την συσσώρευση ατυχημάτων, με σκοπό την παροχή ενός διεθνούς προτύπου για την ασφαλή διαχείριση και λειτουργία των πλοίων και την αποφυγή της ρύπανσης, εφαρμόζοντας πρακτικές ασφαλούς διοίκησης. Σύμφωνα με αυτόν, κάθε εταιρεία που διαχειρίζεται πλοία πρέπει να διατηρεί και να εφαρμόζει ένα Σύστημα Ασφαλούς Διαχείρισης (Safety Management System - SMS) το οποίο θα πληρεί τις απαιτήσεις του ISM. Οργανισμοί κάθε χώρας είναι επιφορτισμένοι με τον έλεγχο της συμμόρφωσης των εταιρειών με τις απαιτήσεις του Κώδικα.

Τέλος πολλοί ναυτιλιακοί κύκλοι θεωρούν ότι η υπάρχουσα νομοθεσία για την ασφάλεια στη ναυτιλία είναι επαρκής και ότι οι τακτικότεροι ελέγχοι και η απαραίτητη συμμόρφωση σε αυτούς θα μπορούσε να είναι ο βασικός παράγοντας μετριασμού των ναυτικών ατυχημάτων. Επιπλέον, οι περισσότεροι κανονισμοί αν και λειτουργούν ανασταλτικά προς τα ναυτικά ατυχήματα, επικεντρώνουν την προσοχή τους στα

τεχνολογικά ή σχεδιαστικά προβλήματα. Έτσι, δίνουν λύσεις όπως σχεδίαση tankers (διπύθμενα, διπλά τοιχώματα), σχεδίαση RoRo (εσωτερικές υποδιαίρέσεις, διαδικασίες εκκένωσης) και σχεδίαση bulk carriers (εγκάρσιες φρακτές, διπλά τοιχώματα). Φαίνεται όμως, ότι τα περισσότερα ναυτικά ατυχήματα εξακολουθούν να οφείλονται κυρίως στα ανθρώπινα σφάλματα. Επομένως, θα πρέπει πρώτα από όλα να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση και να ενισχυθεί, μέσα από τις υπάρχουσες νομοθετικές ρυθμίσεις και κατ' επέκταση μέσα από το Διεθνή Κώδικα Ασφάλειας, η εκπαίδευση του ανθρώπινου παράγοντα (Ψαραύτης, 2003).

Στον τομέα της θαλάσσιας ασφάλειας, τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί προληπτικές (proactive) πολιτικές, όπως η *Formal Safety Assessment (FSA)*, που στοχεύουν στην προληπτική αναγνώριση των παραμέτρων εκείνων που είναι πιθανό να επηρεάσουν αρνητικά τη θαλάσσια ασφάλεια, ώστε άμεσα να διατυπωθούν κατάλληλοι κανονισμοί και μέτρα που θα εμποδίσουν την εμφάνιση ανεπιθύμητων περιστατικών σε αντίθεση με μέτρα που λαμβάνονται ως αντίδραση σε μεμονωμένα περιστατικά.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρείται να διερευνηθούν μεθοδολογίες που θα μπορέσουν να συμβάλουν στον υπολογισμό της συνολικής μείωσης της πιθανότητας πρόκλησης ατυχημάτων στην περίπτωση όπου η εφαρμογή περισσότερων του ενός μέτρων καταστολής του ρίσκου (Risk Control Option, RCO) είναι επιβεβλημένη για να φτάσει η συνολική μείωση του ρίσκου σε επιθυμητά επίπεδα, κάτι που στα πλαίσια της FSA μελετάται στο 3ο και 4ο βήμα. Αυτό που επιδιώκεται στις μεθοδολογίες που διερευνήθηκαν και αναπτύχθηκαν, είναι η συνολική αποτελεσματικότητα του συνδυασμού των μέτρων να μην λαμβάνεται υπόψη απλά ως το άθροισμα των επιμέρους μέτρων, αλλά να λαμβάνεται υπόψη η αλληλεπίδραση τους, κάτι που στις υπάρχουσες FSA δεν έχει μέχρι τώρα διερευνηθεί.

Η δομή της διπλωματικής εργασίας περιγράφεται συνοπτικά στις παραγράφους που ακολουθούν.

Μετά την εισαγωγή, ακολουθεί το 2ο κεφάλαιο, στο οποίο περιγράφονται τα 5 βασικά βήματα που αποτελούν την Τυπική Εκτίμηση της Ασφάλειας (Formal Safety Assessment - FSA). Συγκεκριμένα η FSA αρχικά αναγνωρίζει τους πιο πιθανούς κινδύνους για την πρόκληση ατυχημάτων και στη συνέχεια τους αναλύει και υποβάλλει εναλλακτικές επιλογές και μέτρα για τον έλεγχο του ρίσκου (RCO). Σε

επόμενο βήμα αναγνωρίζει και συγκρίνει τόσο τα οφέλη όσο και το κόστος που σχετίζονται με την εισαγωγή του κάθε RCO και στο τέλος καταλήγει σε προτάσεις σχετικά με την υιοθέτηση οικονομικά συμφερούσών RCO.

Στο 3ο κεφάλαιο προτείνεται και μελετάται η χρήση δεντροδιαγραμμάτων (event trees) για τον υπολογισμό της συνολικής μείωσης της πιθανότητας πρόκλησης ατυχημάτων μετά από την εφαρμογή των RCO. Τα event tree μοντελοποιούν τις επιμέρους εναλλακτικές ενός ατυχήματος, παρουσιάζοντας πληροφορίες με τη μορφή του δέντρου ώστε τα διαφορετικά σενάρια να αξιολογηθούν ανάλογα με την πιθανότητα εμφάνισής τους. Στη συνέχεια, υπολογίσαμε για το κάθε RCO, αλλά και για συνδυασμούς τους, το πως επηρεάζουν και μεταβάλλουν τους κλάδους του event tree. Ουσιαστικά, επιδιώκουμε μέσω των δενδρογραμμάτων να δείξουμε πως τροποποιούνται, με την εφαρμογή ενός συνδυασμού RCO, οι πιθανότητες να εκδηλωθούν τα επιμέρους σενάρια και εναλλακτικές επιλογές, των οποίων γενεσιουργός αιτία είναι ένα ατύχημα.

Στο κεφάλαιο 4 αναλύεται η θεωρία του χαρτοφυλακίου (portfolio analysis). Επιχειρείται να γίνει αντιστοίχιση του χαρτοφυλακίου χρηματοπιστωτικών προϊόντων με το χαρτοφυλάκιο μέτρων ελέγχου του ρίσκου ατυχημάτων (RCO) και ουσιαστικά η τιμή της απόδοσης των "αποδοτικών χαρτοφυλακίων" αποτελούν και τα πιθανά ενδεχόμενα της τελικής μείωσης του αριθμού θανάτων λόγω ατυχημάτων. Σαν απόδοση των RCO για κρουαζιερόπλοια, ορίζουμε την μείωση του αριθμού των θανάτων και θεωρούμε ότι ακολουθεί μια κατανομή πιθανοτήτων. Οι τιμές τις απόδοσης που έχουν προκύψει από την FSA για κρουαζιερόπλοια με χρήση δεντρογραμμάτων θα την ορίσουμε ίση με την μέση τιμή μιας Κανονικής και μιας Γάμμα κατανομής.

Στο κεφάλαιο 5, η εναλλακτική μεθοδολογία που αναπτύσσεται για τον υπολογισμό της τελικής μείωσης που προκύπτει από την εφαρμογή δύο ή περισσότερων RCO, αποτελεί τμήμα της διδακτορικής διατριβής του Νορβηγού O.Balland. Σε αυτή το πρόβλημα της επιλογής των μέτρων ελέγχου των εκπομπών αέρα (air emissions controls-AEC) στοχεύει τη μείωση της ρύπανσης που οφείλεται σε ένα πλοίο. Το μοντέλο αυτό λαμβάνει υπόψη τις αλληλεπιδράσεις που υπάρχουν μεταξύ των διαφόρων AECs σε ό,τι αφορά τη μείωση των εκπομπών. Στα πλαίσια αυτής της ενότητας χρησιμοποιούμε την ίδια μεθοδολογία, αντί όμως για AEC χρησιμοποιούμε τα RCO που χρησιμοποιήθηκαν και στα προηγούμενα κεφάλαια για να μειωθούν τα ατυχήματα στην περίπτωση των κρουαζιεροπλοίων.

Στο κεφάλαιο 6, επιχειρούμε να εισαγάγουμε την έννοια των Συζεύξεων (Copulas), οι οποίες συνδέουν μονοδιάστατες περιθώριες κατανομές με την αντίστοιχη διδιάστατη συνάρτηση κατανομής, μοντελοποιώντας την εξάρτηση μεταξύ τυχαίων μεταβλητών. Η τιμή της μείωση που μπορεί να επιφέρει το κάθε RCO στο ενδεχόμενο να πραγματοποιηθεί ένα ατύχημα περιγράφεται από μια κατανομή πιθανοτήτων (όπως και στο 4ο κεφάλαιο). Οπότε με το μοντέλο που αναπτύξαμε στα πλαίσια αυτής της ενότητας υπολογίζουμε την απόδοση συνδυασμού RCO, καταλήγοντας σε μια κατανομή πιθανοτήτων, με την μέση τιμή της οποίας να αποτελεί και την τελική μείωση της πιθανότητας να εκδηλωθεί ένα ατύχημα με την ταυτόχρονη εφαρμογή περισσότερων του ενός RCO.

Στο κεφάλαιο 7 αναπτύσσεται ένα μοντέλο για τον υπολογισμό της συνολικής μείωσης του κινδύνου να προκληθούν ατυχήματα στην ναυτιλία, βασιζόμενο στη θεωρία των πιθανοτήτων και συγκεκριμένα στις αρχές του θεωρήματος του Bayes για 2 δευσευμένες παραμέτρους. Επί της ουσίας, παρουσιάζεται μια μεθοδολογία για την τελική ποσοστιαία πιθανότητα να πραγματοποιηθεί ένα ατύχημα, θέτοντας τα δύο RCO που πρόκειται να εφαρμοστούν, ως παραμέτρους στη δευσευμένης πιθανότητας, με την μέση τιμή της τελικής κατανομής να αποτελεί και το ποσοστό να λάβει χώρα τελικά ένα ατύχημα όταν 2 ή περισσότερα RCO έχουν εφαρμοστεί.

Στο κεφάλαιο 8 περιλαμβάνονται τα συγκεντρωτικά συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας και γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των επιμέρους μεθοδολογιών.

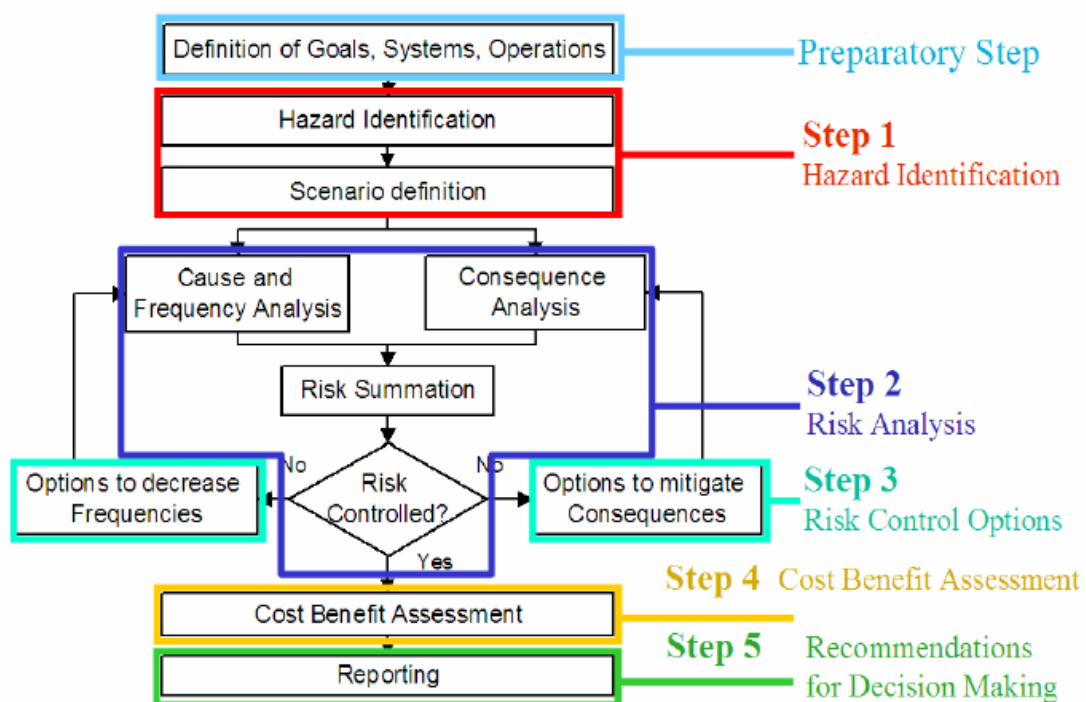
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο:

ΤΥΠΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ (FORMAL SAFETY ASSESSMENT)

2 Formal Safety Assessment (FSA)

2.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με τον IMO (IMO, 2002) η Τυπική Εκτίμηση της Ασφάλειας (FSA) είναι μια δομημένη και συστηματική μεθοδολογία με στόχο την ενίσχυση της ασφάλειας στη θάλασσα, συμπεριλαμβανομένης της προστασίας της ζωής, της υγείας, του θαλάσσιου περιβάλλοντος και των περιουσιών, με τη χρήση της ανάλυσης κινδύνων και κόστους αξιολόγηση της σχέσης οφέλους.



Σχήμα 2-1: Η δομή με τα 5 βήματα της FSA.

Η FSA ξεκινάει με ένα προπαρασκευαστικό βήμα. Αυτό είναι ο ορισμός του προβλήματος και η εκτίμηση όλων των σχετικών παραμέτρων (στόχοι, συστήματα,

λειτουργίες). Σκοπός του είναι ο προσεκτικός καθορισμός του υπό ανάλυση προβλήματος, λαμβάνοντας υπόψη τους ισχύοντες κανονισμούς, καθώς και τις τρέχουσες απαιτήσεις της εκάστοτε μελέτης. Ενδεικτικά, κάποιες από τις πτυχές που πρέπει να ληφθούν υπόψη στην περίπτωση πλοίων είναι :

- 1) η κατηγορία του πλοίου,
- 2) τα συστήματα και οι λειτουργίες του,
- 3) οι εξωτερικές επιδράσεις στο πλοίο (πχ. καιρικές συνθήκες),
- 4) η κατηγορία ατυχήματος και
- 5) οι κίνδυνοι που συνδέονται με συνέπειες, όπως: τραυματισμούς και/ή θανάτους στους επιβάτες και στο πλήρωμα, περιβαλλοντικές επιπτώσεις, βλάβες στο πλοίο ή στις λιμενικές εγκαταστάσεις ή οικονομικές/εμπορικές επιπτώσεις.

Στη συνέχεια ακολουθεί λεπτομερής περιγραφή των 5 βημάτων από τα οποία συγκροτείται η FSA (IMO, 2002)

2.2 Περιγραφή των βασικών βημάτων της FSA

Βήμα 1: Αναγνώριση των κινδύνων

Στόχος είναι να καταρτιστεί ένας κατάλογος όλων των πιθανών σεναρίων κινδύνου και η ιεράρχησή τους με βάση το επίπεδο κινδύνου που παρουσιάζουν ή που εκτιμάται ότι παρουσιάζουν. Η διαδικασία δεν πρέπει μόνο να περιορίζεται στην παλαιότερη εμπειρία σχετικά με τα ατυχήματα, για αυτό χρησιμοποιούνται και ομάδες ειδικών, οι οποίοι πέρα από την ανάλυση των ιστορικών δεδομένων για ατυχήματα, ορίζουν ποια μπορεί να είναι τα πιθανά σενάρια ατυχημάτων, τα αίτια και τα αποτελέσματά τους για κάθε είδος ατυχήματος που ενδιαφέρει (πχ σύγκρουση ή πυρκαγιά κτλ.), και τα ταξινομούν ανάλογα με τη σοβαρότητά τους. Η τελική κατάταξη των κινδύνων γίνεται με βάση την αξιολόγηση του ρίσκου. Το ρίσκο είναι ο συνδυασμός της συχνότητας να συμβεί ένα ατύχημα με τη σοβαρότητα των συνεπειών του και μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\text{Risk} = \text{Frequency} \times \text{Severity} \quad (1)$$

Γενικά, στον IMO συνιστάται να καθορίζονται οι δείκτες των συνεπειών και της συχνότητας να συμβεί ένα ατύχημα, σε λογαριθμική κλίμακα, για λόγους

διευκόλυνσης της κατάταξης των ατυχημάτων. Με αυτόν τον τρόπο ένας δείκτης ρίσκου (RI) μπορεί να καθορισθεί προσθέτοντας τον δείκτη πιθανότητας/συχνότητας (FI) και τον δείκτη συνέπειας (SI), δηλαδή :

$$\text{Risk Index} = \text{Frequency Index} + \text{Severity Index}$$

Όπως ορίζονται από το MSC/Circ.1023, οι παρακάτω πίνακες δείχνουν την κατάταξη των ατυχημάτων με βάση: τη συχνότητα εμφάνισης, τη σοβαρότητα και το ρίσκο αντίστοιχα.

Πίνακας 2-1: Κατάταξη περιστατικών με βάση τη σοβαρότητα των συνεπειών του.

Severity Index				
SI	SEVERITY	EFFECTS ON HUMAN SAFETY	EFFECTS ON SHIP	S (Equivalent fatalities)
1	Minor	Single or minor injuries	Local equipment damage	0.01
2	Significant	Multiple or severe injuries	Non-severe ship damage	0.1
3	Severe	Single fatality or multiple severe injuries	Severe damage	1
4	Catastrophic	Multiple fatalities	Total loss	10

Πίνακας 2-2: Κατάταξη περιστατικών με βάση την συχνότητά τους.

Frequency Index			
FI	FREQUENCY	DEFINITION	F (per ship year)
7	Frequent	Likely to occur once per month on one ship	10
5	Reasonably probable	Likely to occur once per year in a fleet of 10 ships, i.e. likely to occur a few times during the ship's life	0.1
3	Remote	Likely to occur once per year in a fleet of 1000 ships, i.e. likely to occur in the total life of several similar ships	10 ⁻³
1	Extremely remote	Likely to occur once in the lifetime (20 years) of a world fleet of 5000 ships.	10 ⁻⁵

Πίνακας 2-3: Τελική κατάταξη των περιστατικών με βάση το ρίσκο τους

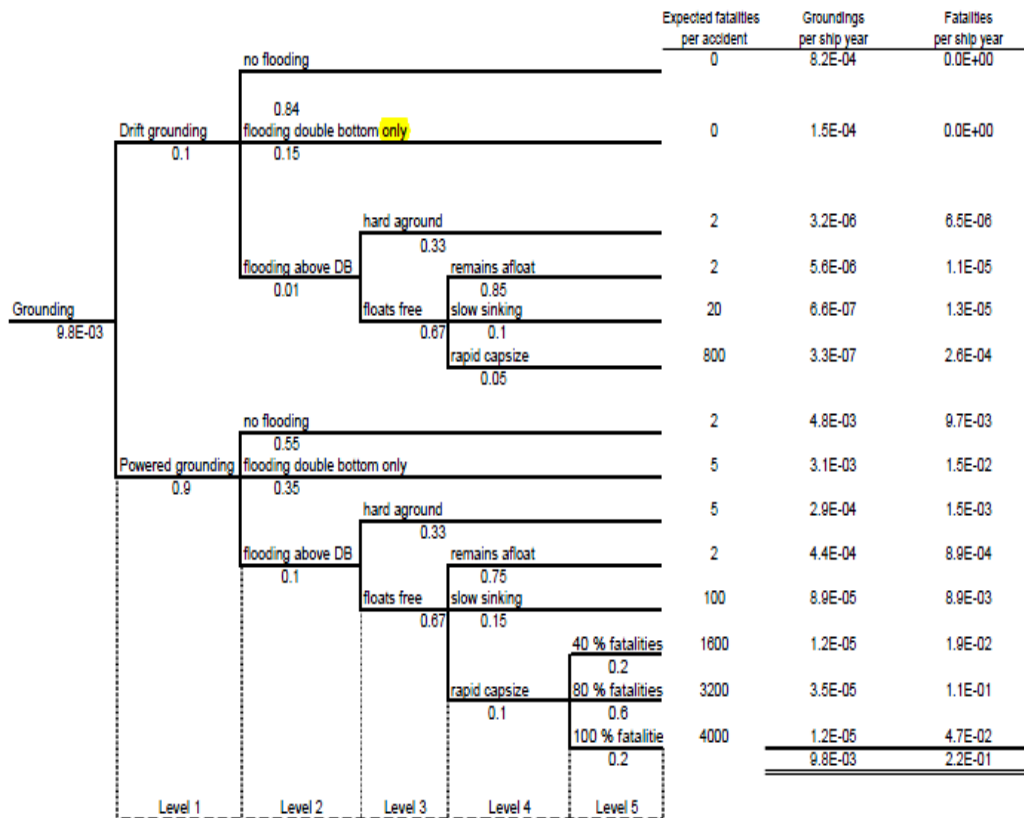
Risk Index (RI)					
FI	FREQUENCY	SEVERITY (SI)			
		1	2	3	4
		Minor	Significant	Severe	Catastrophic
7	Frequent	8	9	10	11
6		7	8	9	10
5	Reasonably probable	6	7	8	9
4		5	6	7	8
3	Remote	4	5	6	7
2		3	4	5	6
1	Extremely remote	2	3	4	5

Βήμα 2: Ανάλυση του Ρίσκου

Σκοπός αυτού του βήματος είναι η λεπτομερή εξέταση των αιτιών και των συνεπειών των πιο σημαντικών σεναρίων, που προσδιορίστηκαν στο προηγούμενο στάδιο. Τα Δένδρα Σφαλμάτων (fault trees) ή τα Δένδρα Γεγονότων (event trees) είναι συστηματικές/δομημένες προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των αιτιών και των επιπτώσεων ενός ατυχήματος, μιας αστοχίας, ή γενικότερα ενός ανεπιθύμητου γεγονότος. Για παράδειγμα, τα event trees περιγράφουν τις πιθανές συνέπειες που οφείλονται σε ένα ατύχημα ή αστοχία, ή γενικότερα ή σε κάποιο ανεπιθύμητο γεγονός και δίνουν την πιθανότητα τα περιστατικά αυτά να προκαλέσουν συνέπειες όπως θάνατοι, καταστροφές στο περιβάλλον ή σε περιουσίες.

Για την ποσοτικοποίηση της συχνότητας ή της πιθανότητας να συμβεί ένα ατύχημα συνήθως χρησιμοποιούνται ιστορικά δεδομένα, από ατυχήματα που έχουν ήδη συμβεί, όπως περιγράψαμε στα πλαίσια του βήματος 1. Για την ποσοτικοποίηση των συνεπειών, στις περισσότερες FSA γίνεται χρήση της έννοιας της 'πιθανής απώλειας ζωής' (Potential Loss of Life - PLL) όπου $PLL = \text{ο αριθμός των ατυχημάτων/ship year}$. Αυτός εκφράζεται είτε από τη σχέση:

$$PLL = \frac{\text{αριθμός ατυχημάτων}}{\text{χρόνος ζωής του πλοίου}}$$



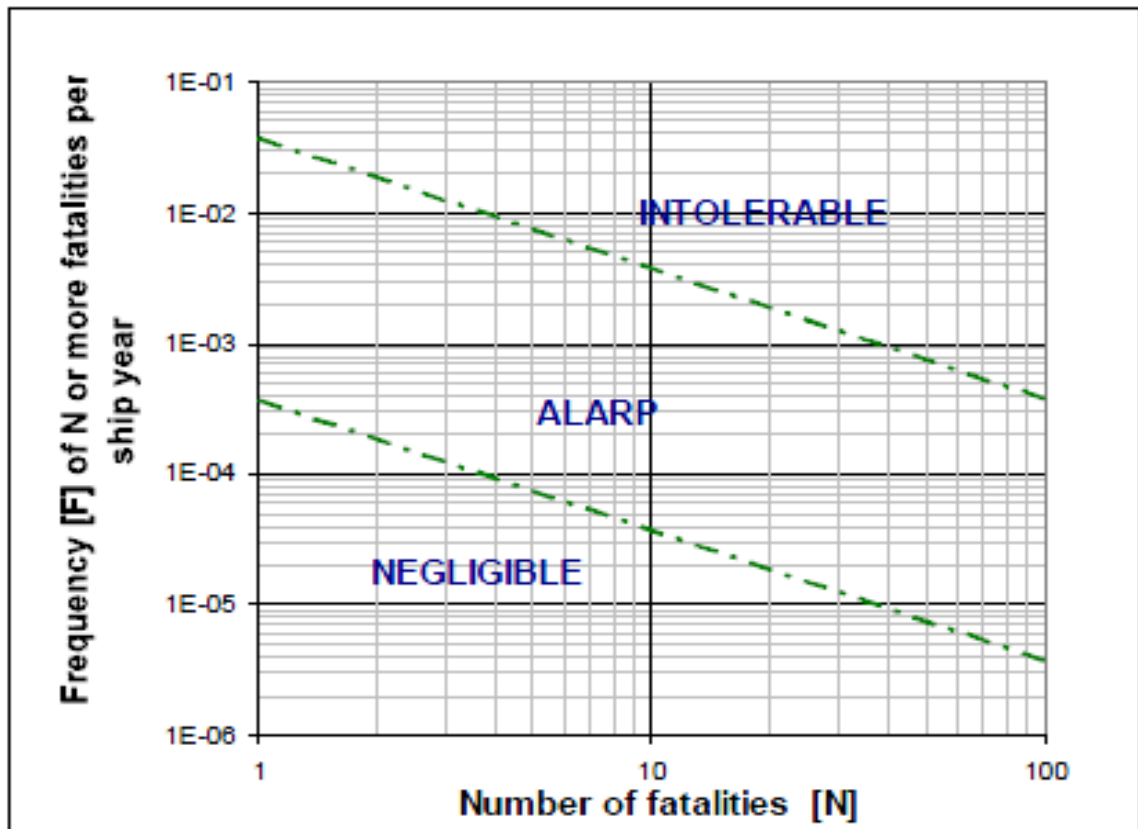
Σχήμα 2-2: Τυπικό παράδειγμα event tree για μελέτη ασφάλειας για cruise ships.

είτε με τη βοήθεια των καμπυλών F-N, όπου F η συχνότητα και N ο αριθμός των θανάτων και συγκεκριμένα από τη σχέση:

$$PLL = \sum_{N=1}^{N_u} (N f_N)$$

όπου :

- N_u είναι το ανώτερο όριο του αριθμού των θανάτων που μπορεί να προκαλέσει ένα ατύχημα,
- f_N είναι η συχνότητα να συμβεί ένα ατύχημα που προκαλεί N θανάτους



Σχήμα 2-3: Τυπικό παράδειγμα διαγράμματος F-N για containership.

Βήμα 3: Επιλογές ελέγχου του ρίσκου (RCOs)

Το βήμα αυτό έχει ως σκοπό την υποβολή πρακτικών και αποτελεσματικών εναλλακτικών επιλογών για τον έλεγχο του ρίσκου (RCOs) ως εξής :

- α) εστίαση σε θέματα ρίσκου που επιδέχονται έλεγχο,
- β) αναγνώριση πιθανών μέτρων ελέγχου του ρίσκου (RCMs),
- γ) αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας κάθε μέτρου σύμφωνα με το δεύτερο βήμα, και
- δ) ομαδοποίηση των RCMs σε πρακτικές, εναλλακτικές λύσεις.

Σύμφωνα με την FSA (IMO, 2002), ένα χρήσιμο εργαλείο για τον προσδιορισμό των RCOs είναι η αιτιακή αλυσίδα που φαίνεται αμέσως παρακάτω:

causal factors → failure → circumstance → accident → consequences

Κάθε RCO θα πρέπει να στοχεύει τουλάχιστον σε ένα από τα ακόλουθα:

- (1) Η μείωση της συχνότητας των αποτυχιών,
- (2) Μετριασμό των επιπτώσεων της αποτυχίας,
- (3) Άμβλυνση των περιστάσεων στις οποίες μπορεί να συμβεί αστοχία,
- (4) Περιορισμό των συνεπειών των ατυχημάτων.

Σε περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται συνδυασμοί RCOs για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα, αν δεν γίνει ποσοτικός υπολογισμός της συνδυασμένης αποτελεσματικότητάς τους, πρέπει τουλάχιστον να ληφθεί υπόψη μια ποιοτική εκτίμηση της αλληλεξάρτησής τους, με τη βοήθεια ενός πίνακα σαν αυτόν που ακολουθεί.

Πίνακας 2-4: Παράδειγμα πίνακα αλληλεξάρτησης στην περίπτωση 4ων RCOs.

Table: Interdependencies of RCOs				
RCO	1	2	3	4
1		Strong	No	Weak
2	Weak		Weak	No
3	No	Weak		No
4	Weak	No	No	

Βήμα 4: Ανάλυση Κόστους – Οφέλους (Cost-benefit Assessment)

Σκοπός αυτού του βήματος είναι να αναγνωρίσει και να συγκρίνει τα οφέλη και το κόστος που σχετίζεται με την εισαγωγή του κάθε RCO, όπως αυτό έχει οριστεί από το 3ο βήμα της διαδικασίας. Κάθε RCO, πρέπει να αξιολογηθεί σύμφωνα με το κόστος εγκατάστασης και συντήρησής του για όλη τη διάρκεια ζωής του σκάφους, καθώς και σύμφωνα με τα οφέλη που προκύπτουν για την ίδια περίοδο (από την εγκατάσταση και χρήση του εκάστοτε μέτρου). Μετά τον υπολογισμό του κόστους και του οφέλους, οι ποσότητες αυτές πρέπει να συνδυαστούν με τη μείωση του ρίσκου. Παρά το γεγονός της ύπαρξης πολλών μορφών έκφρασης της αποτελεσματικότητας ενός RCO, ο τρόπος που έχει επικρατήσει, σε σχέση με τη μελέτη των ανθρώπινων απωλειών, είναι το Κόστος Αποφυγής Ανθρώπινης Απώλειας (Cost of Averting a Fatality - CAF) και εκφράζεται σε δύο μορφές: το μικτό κόστος (Gross CAF) και το καθαρό κόστος (Net CAF).

Οι ορισμοί τους προκύπτουν όπως παρακάτω (IMO, 2002):

Μικτό Κόστος Αποφυγής Ανθρώπινης Απώλειας (GCAF):

$$\text{Gross CAF} = \frac{\Delta C}{\Delta R}$$

Καθαρό Κόστος Αποφυγής Ανθρώπινης Απώλειας (NCAF):

$$\text{Net CAF} = \frac{\Delta C - \Delta B}{\Delta R}$$

όπου:

ΔC : είναι το κόστος ανά πλοίο για κάθε RCO,

ΔB : είναι το οικονομικό όφελος ανά πλοίο και ανά κύκλο ζωής του, υπολογισμένο από την εισαγωγή του εκάστοτε RCO,

ΔR : είναι η μείωση του ρίσκου ανά πλοίο και ανά κύκλο ζωής του, μετρούμενο σε αριθμούς θανάτων που αποφεύχθηκαν λόγω του RCO.

Βήμα 5: Προτάσεις για λήψη αποφάσεων (Recommendations for decision-making)

Σύμφωνα με το MSC 83/INF.2, ο σκοπός αυτού του βήματος είναι να καθορίσει τις συστάσεις, οι οποίες θα δοθούν στους φορείς λήψης αποφάσεων λαμβάνοντας υπόψη τις πληροφορίες και τα αποτελέσματα που αντλήθηκαν από τα προηγούμενα βήματα της FSA. Στο τέλος αυτού του σταδίου θα πρέπει να προκύψουν προτάσεις σχετικά με RCOs που είναι οικονομικά συμφέρουσες και μειώνουν το ρίσκο σε επιθυμητά επίπεδα, δηλαδή μέσα στην ALARP περιοχή.

Σύμφωνα με την FSA αν και υπάρχουν πολλά πρότυπα για τα κριτήρια αποδοχής των κινδύνων, κανένα δεν είναι ακόμη καθολικά αποδεκτό. Επιπλέον, είναι επιθυμητό για τα Κράτη-μέλη που συμμετέχουν στον IMO, να προτείνουν νέους κανονισμούς ή τροποποιήσεις στους ισχύοντες κανονισμούς, διαδικασία που τελικά θα συμβάλει στον καθορισμό κοινά αποδεκτών κριτηρίων αξιολόγησης των κινδύνων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο:

EVENT TREE ANALYSIS

3 Δέντρο Γεγονόντων (Event Tree)

3.1 Περιγραφή της Event Tree Analysis (ETA)

Ένα Event Tree είναι ένα γραφικό και μαθηματικό μοντέλο με τη βοήθεια του οποίου, μπορούν να παρουσιαστούν σενάρια κινδύνου και να αξιολογηθούν οι πιθανότητες. Η παρουσίαση των σεναρίων συνεπάγεται την λειτουργική περιγραφή των ασφαλιστικών δικλείδων (countermeasures) που έχουν σχεδιαστεί ή είναι εξαρχής διαθέσιμα για να εμποδίσει ένα συμβάν να προκαλέσει τα αποτελέσματά του. Για παράδειγμα, η αποτροπή των ακραίων καιρικών συνθηκών να προκαλέσουν καταστροφικές συνέπειες (Rosqvist et al., 2012)

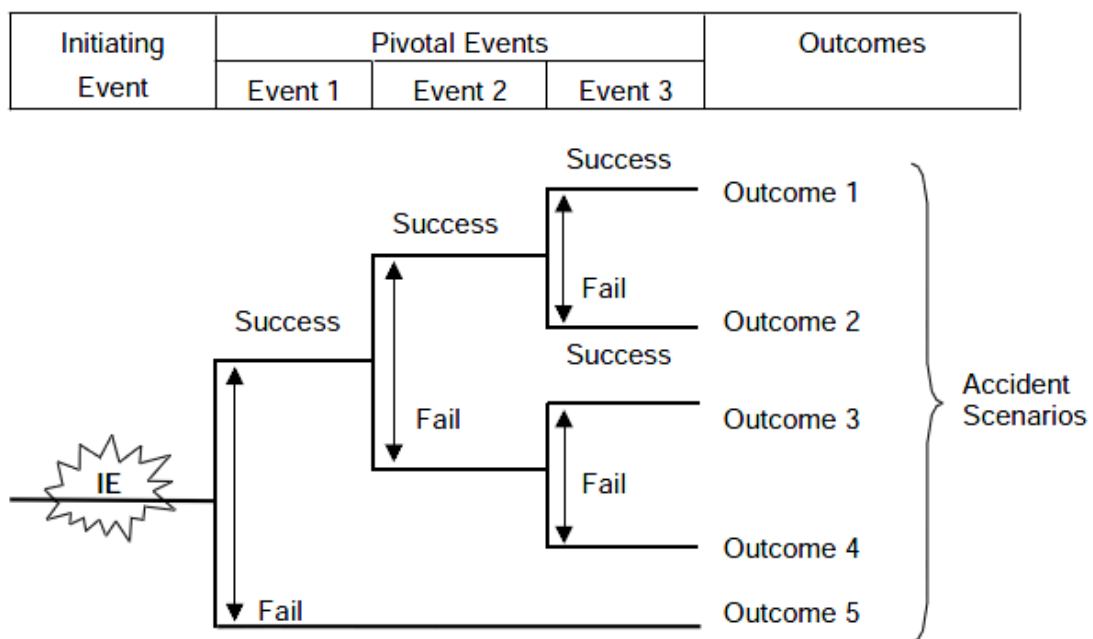
Στην Formal Safety Assessment (FSA), ένα Event tree χρησιμοποιείται για την ανάλυση των επιπτώσεων ενός ατυχήματος ή μιας βλάβης. Το διάγραμμα δείχνει την πιθανότητα ή τη συχνότητα του ατυχήματος και συνδέεται με εκείνα τα μέτρα διασφάλισης που πρέπει να λαμβάνονται μετά την εμφάνισή του, για τον περιορισμό ή την αποτροπή της κλιμάκωσης των συνεπειών του. Επιπλέον, αναλύονται οι πιθανότητες της επιτυχίας ή της αποτυχίας των συγκεκριμένων ενεργειών, που οδηγούν σε συνέπειες διαφορετικής σοβαρότητας ή μεγέθους. Στην περίπτωση που τα γεγονότα είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, η πιθανότητα κάθε συνέπειας προκύπτει πολλαπλασιάζοντας την πιθανότητα ενός ατυχήματος να συμβεί, με την πιθανότητα αποτυχίας ή της επιτυχίας σε κάθε διαδρομή (IMO, 2007).

Τα event trees είναι ένα εργαλείο για την μοντελοποίηση σεναρίων ατυχημάτων. Ένα "εναρκτήριο γεγονός" (initial event) ουσιαστικά αποτελεί την απαρχή μιας τέτοιας αλληλουχίας ατυχημάτων, ενώ στη συνέχεια αναλύονται οι διαφορετικές εναλλακτικές ενός ατυχήματος, παρουσιάζοντας τις πληροφορίες αυτές με δομή δέντρου, συμβάλλοντας έτσι ώστε τα διαφορετικά σενάρια να ταξινομηθούν ανάλογα με τις συνέπειές τους. Κάθε ξεχωριστή διαδρομή στο δέντρο

αποτελεί ένα σενάριο. (Andrews & Dunnett, 2000) Τα αποτελέσματα ενός αρχικού συμβάντος ποικίλλουν και αφορούν περιστατικά όπως:

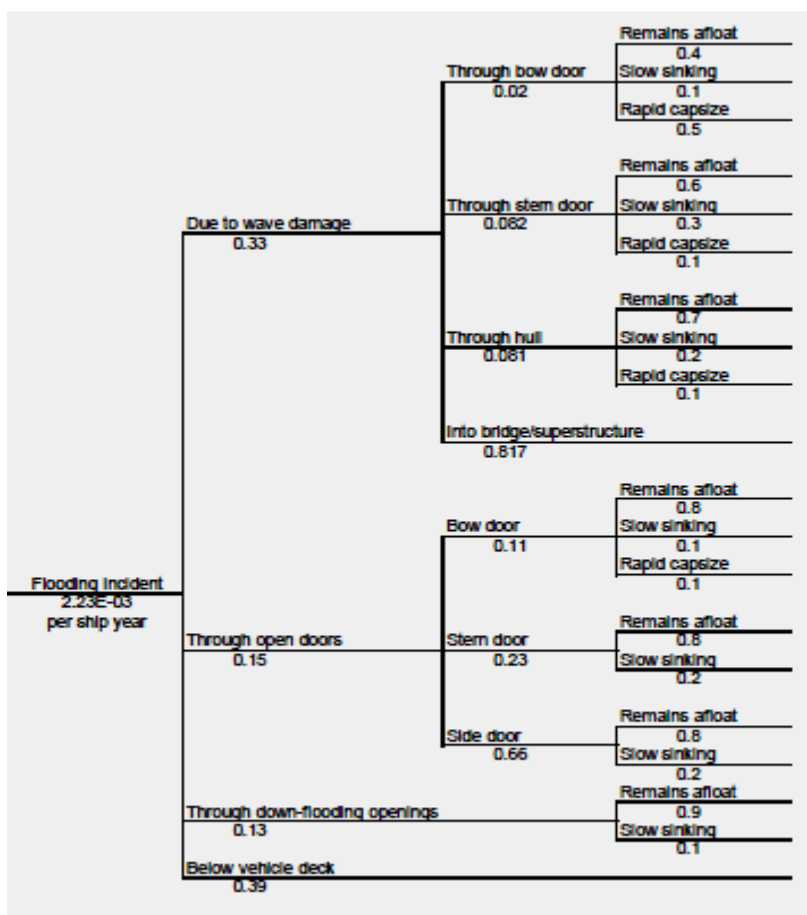
- Απώλεια ζωής ή τραυματισμό ανθρώπων,
- Φθορά ή απώλεια υλικού εξοπλισμού,
- Απροσδόκητες ή παράπλευρες απώλειες, ως αποτέλεσμα των δοκιμών,
- Αποτυχία μιας αποστολής ή ενός έργου,
- Κοινωνικές συνέπειες,
- Συνέπειες στο περιβάλλον,

Στο σχήμα που ακολουθεί, φαίνεται η ιδέα του event tree. Στο συγκεκριμένο δέντρο, κάθε επιμέρους γεγονός μπορεί να έχει δύο μόνο εναλλακτικές, αυτή της "επιτυχίας" και αυτή της "αποτυχίας" και αποτελεί επί της ουσίας την πιο απλή μορφή δέντρου.



Σχήμα 3-1: μορφή δυαδικού event tree

Ο δυαδικός χαρακτήρας ανάπτυξης του δέντρου δεν είναι απαραίτητος. Πολλά event trees χωρίζονται σε περισσότερους από δύο κλάδους. Αυτό όμως που απαιτείται είναι οι ξεχωριστές διαδρομές να διατηρούν τη μοναδικότητά τους και να ποσοτικοποιούνται ως τέτοιες (μέχρι το επιθυμητό επίπεδο ακρίβειας).

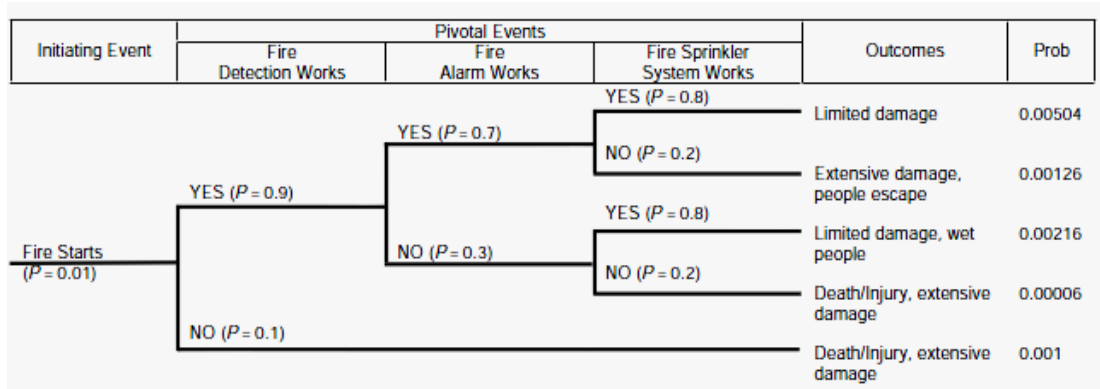


Σχήμα 3-2: μορφή event tree με πολλαπλά κλαδιά (από FSA για RO-PAX)

Για την ανάπτυξη των δενδροδιαγραμμάτων, ο αναλυτής πρέπει πρώτα να αναπτύξει τα σενάρια ατυχήματος. Μόλις κατασκευαστεί το event tree, στην περίπτωση που είναι δυαδικής μορφής, προσδιορίζονται οι συχνότητες "αποτυχίας" (failure frequency) των επιμέρους συμβάντων και δεδομένου ότι ισχύει η σχέση:

$$P_{failure} + P_{success} = 1$$

υπολογίζεται και η πιθανότητα "επιτυχίας" αντίστοιχα. Για μια συγκεκριμένη συνέπεια, η πιθανότητα να συμβεί είναι το αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού των πιθανοτήτων των επιμέρους συμβάντων σε κάθε διαδρομή, με την προϋπόθεση ότι τα συμβάντα είναι ανεξάρτητα.



Σχήμα 3-3: Παραδειγμα αλληλουχίας γεγονόντων ενός event tree

Στο παράδειγμα event tree της παραπάνω σχήματος προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα με της παρακάτω 5 αλληλουχίες γεγονόντων:

- **outcome1:** περιορισμένη καταστροφή
(ξεκίνημα φωτιάς → το σύστημα εντοπισμού δουλεύει → ο συναγερμός φωτιάς λειτουργεί → το σύστημα ψεκασμού λειτουργεί)
- **outcome2:** εκτεταμένη καταστροφή , οι άνθρωποι γλίτωσαν
(ξεκίνημα φωτιάς → το σύστημα εντοπισμού δουλεύει → ο συναγερμός φωτιάς λειτουργεί → το σύστημα ψεκασμού δεν λειτουργεί)
- **outcome3:** περιορισμένη καταστροφή , οι άνθρωποι βράχηκαν
(ξεκίνημα φωτιάς → το σύστημα εντοπισμού δουλεύει → ο συναγερμός φωτιάς δεν λειτουργεί → το σύστημα ψεκασμού λειτουργεί)
- **outcome4:** : εκτεταμένη καταστροφή, θάνατοι και τραυματισμοί ανθρώπων
(ξεκίνημα φωτιάς → το σύστημα εντοπισμού δουλεύει → ο συναγερμός φωτιάς δεν λειτουργεί → το σύστημα ψεκασμού δεν λειτουργεί)
- **outcome5:** εκτεταμένη καταστροφή, θάνατοι και τραυματισμοί ανθρώπων
(ξεκίνημα φωτιάς → το σύστημα εντοπισμού δεν λειτουργεί)

Ο αριθμητικός υπολογισμός των πιθανοτήτων των συνεπειών των επιμέρους σεναρίων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3-1: Υπολογισμοί της πιθανότητας των επιμέρους συνεπειών

<i>outcomes</i>	<i>P (outcome)=</i>
1	$0,01 \times 0,9 \times 0,7 \times 0,8=$ 0,00504
2	$0,01 \times 0,9 \times 0,7 \times 0,2=$ 0,00126
3	$0,01 \times 0,9 \times 0,3 \times 0,8=$ 0,00216
4	$0,01 \times 0,9 \times 0,3 \times 0,2=$ 0,00054
5	$0,01 \times 0,1=$ 0,001

Οπότε συνοψίζοντας τα πλεονεκτήματα της μεθόδου των event tree είναι:

1. Ότι αποτελούν μια δομημένη και μεθοδική προσέγγιση για την παρουσίαση των συνεπειών των διαφορετικών σεναρίων που προκαλεί ένα ατύχημα .
2. Μπορούν να παρουσιάσουν πολλά επίπεδα λεπτομέρειας.
3. Είναι ένα μοντέλο που απεικονίζονται οι σχέσης αιτίας / αιτιατού.
4. Σχετικά εύκολο να τα μάθουν, να τα κάνουμε, και να τα ακολουθήσουμε.
5. Απεικονίζονται πολύπλοκες σχέσεις του συστήματος με κατανοητό τρόπο.
6. Ακολουθούν διαδρομές σφάλματος πέρα από τα όρια του συστήματος.
7. Συνδυάζουν υλική, περιβαλλοντική και ανθρώπινη αλληλεπίδραση.
8. Επιτρέπουν την εκτίμηση των επιμέρους και τελικών πιθανοτήτων.

Παρακάτω παρατίθενται επιγραμματικά και τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει η τεχνική:

1. Το γεγονός ότι αναλύει μόνο ένα αρχικό συμβάν-γενεσιουργός αιτία ενός ατυχήματος και ως εκ τούτου απαιτούνται πολλαπλά event tree για να αξιολογηθούν οι συνέπειες στην περίπτωση των πολλαπλών αρχικών συμβάντων.
2. Κατά την μοντελοποίηση γεγονότων, μπορεί να παραβλεφθούν λεπτές αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των εναλλακτικών σεναρίων.
3. Τμηματικές επιτυχίες ή αποτυχίες δεν είναι πολλές φορές διακριτές.
4. Η δημιουργία του απαιτεί έναν αναλυτή με κριτική ικανότητα και πρακτική εμπειρία.

3.2 Αριθμητικός υπολογισμός συνδυασμού Risk Control Options (RCO) μέσω Event tree

3.2.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της ενότητας αυτής θα επιχειρήσουμε να υπολογίσουμε ποσοτικά την υποχώρηση που προκύπτει όσον αφορά στις πιθανές συνέπειες σε περίπτωση ατυχημάτων σε πλοία, με την εφαρμογή δύο ή περισσότερων μέτρων καταστολής του ρίσκου (RCO). Ουσιαστικά, θα επιδιώξουμε μέσω των δένδρογραμμάτων να δείξουμε πως μεταβάλλονται, με την εφαρμογή ενός RCO, οι πιθανότητες να εκδηλωθούν τα επιμέρους σενάρια και εναλλακτικές επιλογές, των οποίων γενεσιουργός αιτία είναι ένα ατύχημα. Η εφαρμογή ενός RCO, επιδρά τελικά στην τελική πιθανότητα εμφάνισης ενός δυσάρεστου συμβάντος με πιθανές συνέπειες είτε στο περιβάλλον, ή σε ανθρώπινες ζωές.

Στην παρούσα εργασία για την ανάπτυξη και επεξήγηση της μεθόδου επικεντρωθήκαμε σε 3 RCOs και στην επίδραση που αυτά έχουν στην μείωση των αναμενόμενων θανάτων και στην περίπτωση που εφαρμόζονται μεμονωμένα, αλλά και σε συνδυασμό μεταξύ τους.

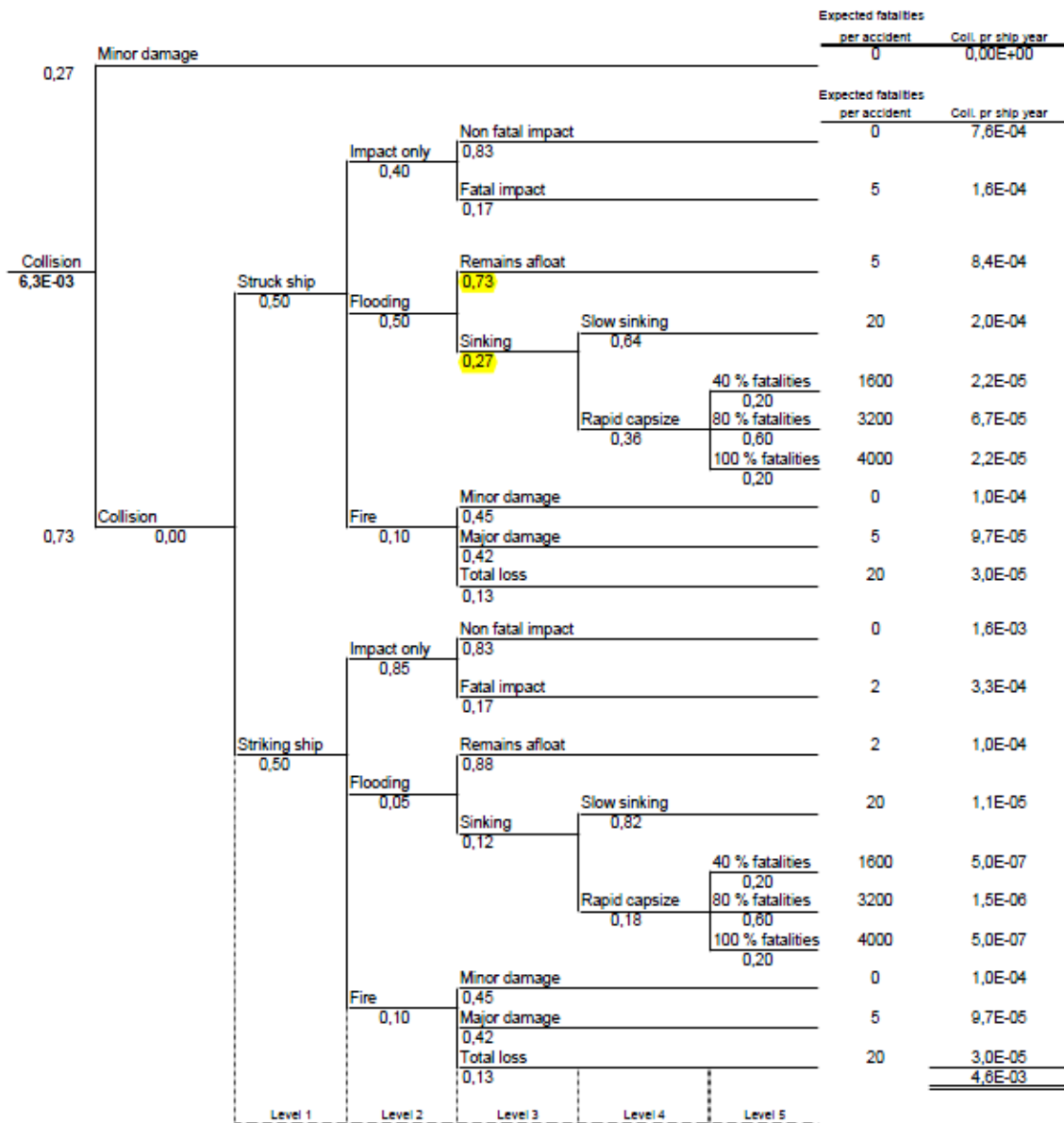
3.2.2 Ανάπτυξη μεθοδολογίας υπολογισμού της αλληλεπίδρασης των RCOs

Η κατηγορία πλοίων πάνω στην οποία θα αναπτύξουμε τη συγκεκριμένη μεθοδολογία είναι τα κρουαζιερόπλοια. Οι 4 κυριότερες κατηγορίες ατυχημάτων , όσον αφορά τη συχνότητα εμφάνισής τους είναι:

- α)** Η σύγκρουση (collision) ,
- β)** Η επαφή (contact),
- γ)** Η προσάραξη (grounding) και
- δ)** η πυρκαγιά και έκρηξη (fire and explosion)

Για τους υπολογισμούς μας για το πώς επιδρούν τα RCO στο event tree, επικεντρωθήκαμε την περίπτωση της σύγκρουσης (collision). Με βάση στατιστικά στοιχεία για την περίοδο 1990-2004 και έχοντας ως δείγμα 1742 πλοία από την

βάση δεδομένων "Lloyds Register Fairplay (LRFP) accident database", το αναλυτικό event tree της οποίας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3-4: event tree για την περίπτωση ατυχήματος σύγκρουσης (collision)

επίπεδο 1 (level1):

Ο πρώτος κλάδος χωρίζει ανάλογα με το αν το πλοίο είναι αυτό που προσκρούει (striking ship) ή που δέχεται την πρόσκρουση (struck ship).

επίπεδο 2 (level2):

Και για τις δύο κατηγορίες πλοίων τα αποτελέσματα είναι είτε να αρχίσουν να βουλιάζουν, είτε να πιάσουν φωτιά, είτε να απλά να δεχτούν χτύπημα αλλά με διαφορετικές πιθανότητες στην κάθε μια περίπτωση όπως φαίνεται από την μελέτη (Skjong & Vanem, 2004).

επίπεδο 3 (level3):

Εάν το πλοίο συνεχίζει να επιπλέει ή βυθίζεται εξαρτάται από τον αριθμό των στεγανών φρακτών ή στεγανών διαμερισμάτων που το νερό έχει εισρεύσει. Τυπικά, εάν είναι πλημμυρισμένα τρία ή περισσότερα στεγανά διαμερίσματα κάτω από την ίσαλο γραμμή, το πλοίο βυθίζεται. Στην περίπτωση της πυρκαγιάς, η κατανομή πιθανοτήτων των επιπτώσεων της βασίζεται σε στατιστικές από την περίοδο 1990-2004.

επίπεδο 4 (level4):

Για την περίπτωση που το πλοίο βυθίζεται, ο ρυθμός με τον οποίο αυτό θα γίνει έχει διερευνηθεί σε προηγούμενη μελέτη FSA (FSA large passenger ships, 2005).

επίπεδο 5 (level5):

Τα κλαδιά στο επίπεδο αυτό περιλαμβάνουν την πιθανότητα, στην περίπτωση που το πλοίο βυθίζεται με γρήγορο ρυθμό να έχουμε 40%, 80% ή 100% όσον αφορά θανάτους των επιβαινόντων.

Για να πραγματοποιηθούν οι αριθμητικοί υπολογισμοί της επίδρασης που έχουν τα RCO στην μείωση των συνεπειών (θανάτων) στην περίπτωση της σύγκρουσης, χρησιμοποιείται σαν πλοίο βάσης (reference ship), ένα κρουαζιερόπλοιο με τα εξής χαρακτηριστικά:

Size = 90.000 GT
Passengers = 2500
Crew = 800
Passengers + Crew = 3300
Length = 290 m
Draft = 8,5 m
Breadth = 32,2 m

3.2.3 Περιγραφή των 3 Risk Control Options (RCOs) που χρησιμοποιήθηκαν

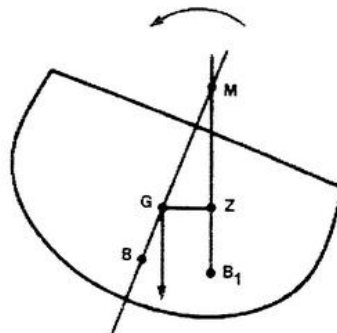
Στην ενότητα αυτή περιγράφονται τα 3 RCOs που χρησιμοποιήσαμε στα πλαίσια της μελέτης της αλληλεπίδρασης των μεθόδων καταστολής του ρίσκου για τη μείωση της πιθανότητας να προκληθούν θάνατοι σε ατυχήματα κρουαζιερόπλοιων. Πιο συγκεκριμένα, τα RCO που αναλύονται είναι τα εξής:

- RCO₁ : Αύξηση του Μετακεντρικού ύψους κατά 0,5m
- RCO₂ : Αύξηση του ύψους εξάλων κατά 0,5m
- RCO₃ : Εφεδρική Πλευστότητα στο κατάστρωμα Στεγανών

Ειδικότερα:

RCO₁- Αύξηση του Μετακεντρικού ύψους κατά 0,5m

Το **Μετάκεντρο** είναι το θεωρητικό σημείο τομής του κατακόρυφου άξονα ενός πλοίου με την προέκταση της ευθείας επί της οποίας ενεργεί η δύναμη της άντωσης. Το **Μετακεντρικό ύψος** (GM) είναι η απόσταση του μετάκεντρου από το κέντρο βάρους ενός πλοίου.



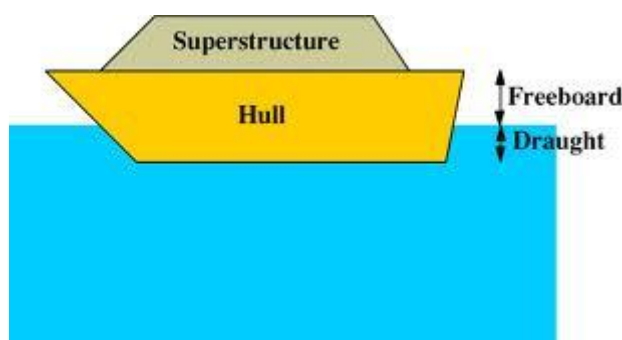
Σχήμα 3-5: Το μετακεντρικό ύψος ενός πλοίου

Το μετακεντρικό ύψος (GM) επί της ουσίας είναι μια έκφραση για τη σχέση του ύψους του κέντρου βάρους και άντωσης ενός πλοίου. Η αύξηση του μετακεντρικού ύψους θα οδηγήσει με τη σειρά της στην αύξηση της εναπομείνουσας ευστάθειας μετά από βλάβη, συντελώντας στο γεγονός η πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου μετά από ατύχημα να είναι μεγαλύτερη. Η ευστάθεια μετά από βλάβη θα μειώσει τη πιθανότητα της ταχείας ανατροπής του πλοίου σε περίπτωση ατυχήματος.

Η επίτευξη της αύξησης του GM μπορεί να γίνει είτε μειώνοντας το κέντρο βάρους, είτε με την αύξηση του πλάτους του σκάφους, με επικρατέστερη τη δεύτερη. Μια γαστρα με μεγάλο C_b θα έχει μεγαλύτερες δυνάμεις άντωσης σε μία συγκεκριμένη γωνία κλίσης, σε σύγκριση με μια πιο λεπτόγραμμη γαστρα, λόγω του μεγαλύτερου όγκου του νερού που εκτοπίζεται κατά την ίδια γωνία.

RCO₂ - Αύξηση του ύψους εξάλων κατά 0,5m

Το ύψος εξάλων (freeboard) είναι η απόσταση από την ίσαλο γραμμή μέχρι το κατάστρωμα εξάλων ενός πλήρως φορτωμένου πλοίου, μετρούμενο στο μέσο της πλευράς του σκάφους.



Σχήμα 3-6: Απεικόνιση του ύψους εξάλων (freeboard)

Για τα κρουαζιερόπλοια το κατάστρωμα εξάλων συνήθως λαμβάνεται ως το κατάστρωμα στεγανών, το κατάστρωμα δηλαδή στο οποίο καταλήγει η εγκαρσία στεγανή υποδιαίρεση. Το ύψος εξάλων αντιπροσωπεύει το περιθώριο ασφαλείας που δείχνει ως ποιο βύθισμα ένα πλοίο μπορεί να φορτωθεί κάτω από διάφορες υπηρεσιακές συνθήκες.

Όσο υψηλότερο είναι το ύψος εξάλων, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα η ζημία που προκαλείται στο πλοίο σε περίπτωση που προκληθεί σύγκρουση να είναι κάτω από ένα υδατοστεγές κατάστρωμα. Στην περίπτωση που ενισχύουμε/εφαρμόζουμε υδατοστεγή καταστρώματα, ευνοείται η απόκριση του σκάφους για ατυχήματα που προκαλούν ζημιές κάτω από το κύριο υδατοστεγές κατάστρωμα. Αυτό συμβαίνει γιατί τα στεγανά διαμερίσματα θα περιορίσουν την κάθετη κατάκλιση του πλοίου, με ευεργετικές επιπτώσεις στην ευστάθεια του πλοίου.

Ωστόσο, η αύξηση του ύψους εξάλων οδηγεί σε υψηλότερο κέντρο βάρους, και συνεπώς σε μικρότερο μετακεντρικό ύψος. Θυμίζουμε ότι:

$$GM = KM - KG$$

όπου: **GM** είναι το μετακεντρικό ύψος

KM είναι η απόσταση του μετάκεντρου από το κοίλο του πλοίου

KG είναι το κέντρο βάρους

Για να διατηρηθεί σταθερό το μετακεντρικό ύψος ενός πλοίου, απαιτείται η αύξηση του πλάτους του.

RCO₃ - Εφεδρική Πλευστότητα στο κατάστρωμα Στεγανών Φρακτων

Είναι σημαντικό όλη η εφεδρική άντωση να τοποθετείται σε μέρη όσο το δυνατόν ψηλότερα και προς τα έξω. Αυτό θα μειώσει την πιθανότητα η εφεδρική άντωση να εμπλακεί σε μια βλάβη και μακροπρόθεσμα επιτυγχάνεται αυξημένη σταθερότητα σε σύγκριση με την περίπτωση που η ίδια άντωση τοποθετείτο στο εσωτερικό. Η προτεινόμενη λύση είναι να τοποθετούνται τα στεγανά διαμερίσματα στο κατάστρωμα στεγανών φρακτών. Αυτό θα αυξήσει τις ανορθωτικές δυνάμεις σε σχετικά μεγάλες γωνίες κλίσης.

3.2.4 Γενικές αρχές για τον υπολογισμό της μείωσης του ρίσκου (ΔR) για συνδυασμό RCOs με χρήση event trees

Σε όλες τις περιπτώσεις εφαρμογής RCOs, ο υπολογισμός της τελικής μείωσης του ρίσκου (ΔR) προκύπτει από την παρακάτω διαδικασία.

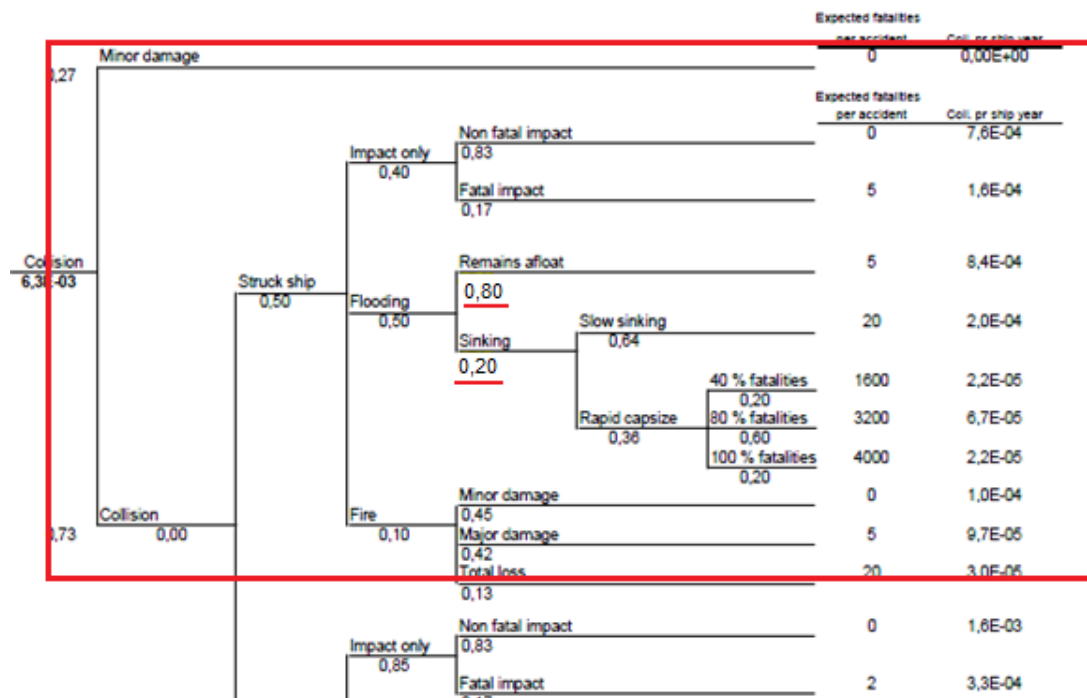
Για το ΔR ισχύει η σχέση:

- $\Delta R = T \times \Delta PLL$, όπου **T** ο κύκλος ζωής του πλοίου μετρούμενος σε χρόνια και
- ΔPLL (potential loss of life) = Number of lives saved / shipyear

Στην περίπτωση των κρουαζιερόπλοιων για το σενάριο βάσης (base line scenario), με βάση δηλαδή τα στοιχεία του πλοίου αναφοράς (reference ship) και χρησιμοποιώντας τις σχέσεις που παρατίθενται στο MSC.194(80) (IMO, 2005) προκύπτει για τον απαιτούμενο δείκτη υποδιαίρεσης (subdivision Index R):

$$R = 1 - \frac{5000}{Ls+2.5N+15225} = 0,8.$$

Δεδομένου λοιπόν ότι απαιτείται όπου ο δείκτης σταθερότητας **A να μην είναι μικρότερος του R**, για το σενάριο βάσης θα θεωρήσουμε **A=0,8**, Το event tree για το ατύχημα της σύγκρουσης παίρνει λοιπόν τη μορφή που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3-7: το event tree με για το σενάριο βάσης (baseline scenario)

Ουσιαστικά αυτό που αλλάζει σε σχέση με το event tree του Σχήματος 3-4 είναι ότι ο δείκτης A, δηλαδή η πιθανότητα το πλοίο να συνεχίσει να επιπλέει, μετά από σύγκρουση και εισόδου νερού στο εσωτερικό του, γίνεται από 0,73 →0,8. Αντίστοιχα λοιπόν η πιθανότητα το πλοίο να αρχίσει να βυθίζεται, μετά από σύγκρουση και εισόδου νερού στο εσωτερικό του γίνεται από 0,27→0,2, ώστε να ικανοποιείται η σχέση $P(\text{remains afloat})+P(\text{sinking})= 0,8+0,2=1$.

Αυτό που πρέπει να υπολογίσουμε στην περίπτωση αυτή του σεναρίου βάσης, δηλαδή πριν την εφαρμογή οποιουδήποτε μέτρου μείωσης του ρίσκου

θανάτων, είναι πόσοι είναι οι αναμενόμενοι θάνατοι (expected fatalities) για ένα χρόνο ζωής του πλοίου.

Η συχνότητα να συμβεί μία σύγκρουση κρουαζιερόπλοιων στην περίοδο ενός χρόνου, είναι $6,3 \times 10^{-3}$ ατυχήματα/ship year. Με βάση το event tree του Σχήματος 3-7 προκύπτουν τα εξής σενάρια ατυχημάτων:

- S1:** collision → Struck ship → Impact only → Non fatal impact
- S2:** collision → Struck ship → Impact only → Fatal impact
- S3:** collision → Struck ship → Flooding → Remains Afloat
- S4:** collision → Struck ship → Flooding → Sinking → Slow Sinking
- S5:** collision → Struck ship → Flooding → Sinking → Rapid Capsize → 40% Fatalities
- S6:** collision → Struck ship → Flooding → Sinking → Rapid Capsize → 80% Fatalities
- S7:** collision → Struck ship → Flooding → Sinking → Rapid Capsize → 100% Fatalities
- S8:** collision → Struck ship → Fire → Minor damage
- S9:** collision → Struck ship → Fire → Major Damage
- S10:** collision → Struck ship → Fire → Total loss
- S11:** collision → Striking ship → Impact only → Non fatal impact
- S12:** collision → Striking ship → Impact only → Fatal impact
- S13:** collision → Striking ship → Flooding → Remains Afloat
- S14:** collision → Striking ship → Flooding → Sinking → Slow Sinking
- S15:** collision → Striking ship → Flooding → Sinking → Rapid Capsize →
→ 40% Fatalities
- S16:** collision → Striking ship → Flooding → Sinking → Rapid Capsize →
→ 80% Fatalities
- S17:** collision → Striking ship → Flooding → Sinking → Rapid Capsize →
→ 100% Fatalities
- S18:** collision → Striking ship → Fire → Minor damage
- S19:** collision → Striking ship → Fire → Major Damage
- S20:** collision → Striking ship → Fire → Total loss

Η συχνότητα εμφάνισης του σεναρίου 1 (S.1) στην περίοδο ενός έτους προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό:

$$\mathbf{S.1:} \text{ Frequency [per shipyear]} = 0,0063 \times 0,73 \times 0,5 \times 0,4 \times 0,83 = 0,00076$$

ομοίως υπολογίζονται οι αντίστοιχες συχνότητες για τα υπόλοιπα σενάρια, με τα συγκεντρωτικά αποτελέματά τους να φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Στον πίνακα 3-2 φαίνονται:

- α) η συχνότητα να συμβούν τα σενάρια αυτά των ατυχημάτων στην περίοδο ενός έτους και
- β) οι αναμενόμενοι θάνατοι ανά συμβάν για κάθε ένα από τα σενάρια αυτά, όπως προκύπτουν από στατιστικά στοιχεία

Πίνακας 3-2: Συχνότητα ατυχημάτων ανά έτος, αναμενόμενοι θάνατοι ανά ατύχημα για κάθε σενάριο

Scenarios	Collision Frequency [per shipyear]	Expected Fatalities [per collision]
S.1	0,00076	0
S.2	0,00016	5
S.3	0,00092	5
S.4	0,00015	20
S.5	0,000017	1600
S.6	0,00005	3200
S.7	0,000017	4000
S.8	0,0001	0
S.9	0,000097	5
S.10	0,00003	20
S.11	0,0016	0
S.12	0,00033	2
S.13	0,0001	2
S.14	0,000011	20
S.15	0,0000005	1600
S.16	0,0000015	3200
S.17	0,0000005	4000
S.18	0,0001	0
S.19	0,000097	5
S.20	0,00003	20

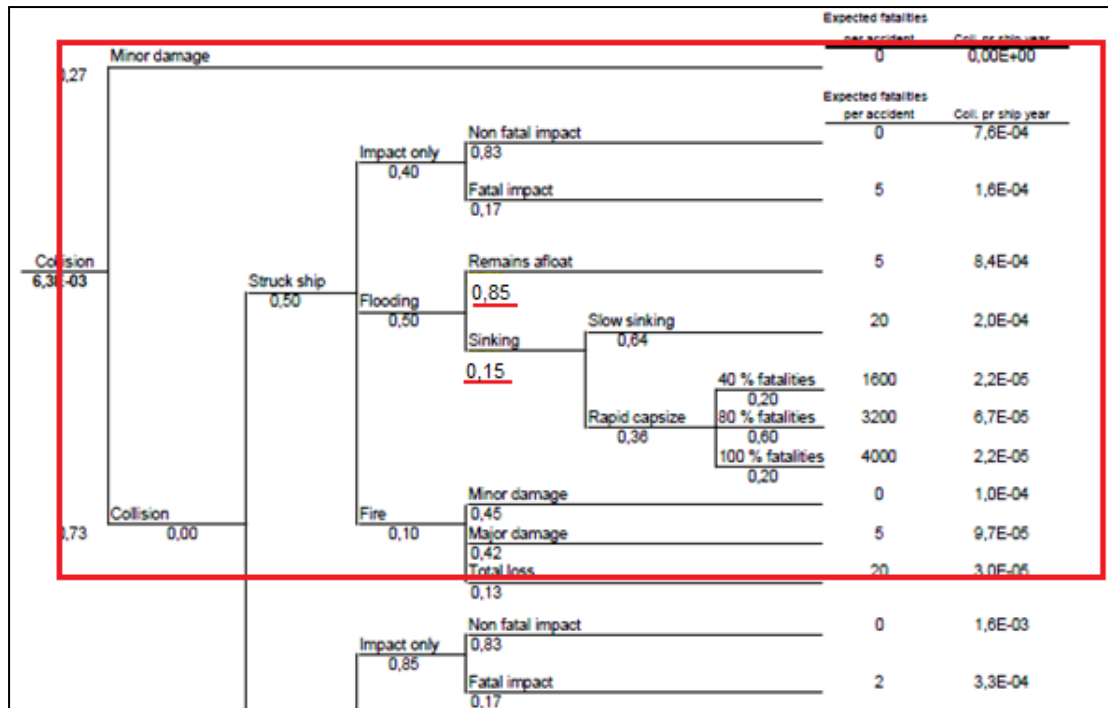
οπότε ο αριθμός των αναμενόμενων θανάτων για περίοδο ενός χρόνου προκύπτει από τη σχέση :

$$\text{Expected fatalities / shipyear} = \text{Collisionfrequency [per shipyear]} * \text{Expected fatalities [per collision]}$$

Scenarios	Expected Fatalities [per shipyear]
S.1	0
S.2	0,0008
S.3	0,0046
S.4	0,003
S.5	0,0272
S.6	0,16
S.7	0,068
S.8	0
S.9	0,000485
S.10	0,0006
S.11	0
S.12	0,00066
S.13	0,0002
S.14	0,00022
S.15	0,0008
S.16	0,0048
S.17	0,002
S.18	0
S.19	0,000485
S.20	0,0006
Σύνολο θανάτων:	0,27445

3.2.4.1 Υπολογισμός της μείωσης των θανάτων με την εφαρμογή του RCO_1 (Αύξηση του Μετακεντρικού ύψους κατά 0,5m)

Ουσιαστικά αυτό που αλλάζει σε σχέση με το event tree του σεναρίου βάσης είναι ο δείκτης A, που με την εφαρμογή του RCO_1 , δηλαδή με την αύξηση του μετακεντρικού ύψους του πλοίου, γίνεται από 0,80 \rightarrow 0,85 (οι αριθμητικοί υπολογισμοί βασίζονται στις μελέτες που έγιναν στα πλαίσια του Harder project, IMO 2005 και IMO 2008).



Σχήμα 3-8: οι αλλαγές στο event tree με την εφαρμογή του RCO₁

Συνοπτική παρουσίαση της μεθοδολογίας υπολογισμού παρουσιάζεται στο Παράρτημα Α) Αντίστοιχα λοιπόν η πιθανότητα το πλοίο να αρχίσει να βυθίζεται, μετά από σύγκρουση και εισόδου νερού στο εσωτερικό του γίνεται από 0,20→0,15 ώστε και σε αυτή την περίπτωση να ικανοποιείται η σχέση $P(\text{remains afloat})+P(\text{sinking})=0,85+0,15=1$. Η αλλαγή αυτή επιδρά στην συχνότητα εμφάνισης των σεναρίων S.3-S.7 στην περίοδο ενός έτους, ο υπολογισμός των οποίων προκύπτει με την μεθοδολογία που αναλύθηκε στην ενότητα 3.2.4

Πίνακας 3-3: Υπολογισμοί των αναμενόμενων θανάτων ανά έτος, με την εφαρμογή του RCO₁

Scenarios	Collision Frequency [per shipyear] (1)	Expected Fatalities [per accident] (2)	Expected Fatalities [per shipyear] (3)=(1)*(2)
S.1	0,00076	0	0
S.2	0,00016	5	0,0008
S.3	0,00098	5	0,0049
S.4	0,00011	20	0,0022
S.5	0,000012	1600	0,0192
S.6	0,000037	3200	0,1184
S.7	0,000012	4000	0,048
S.8	0,0001	0	0
S.9	0,000097	5	0,000485
S.10	0,00003	20	0,0006

S.11	0,0016	0	0
S.12	0,00033	2	0,00066
S.13	0,0001	2	0,0002
S.14	0,000011	20	0,00022
S.15	0,0000005	1600	0,0008
S.16	0,000001	3200	0,0032
S.17	0,0000005	4000	0,002
S.18	0,0001	0	0
S.19	0,000097	5	0,000485
S.20	0,00003	20	0,0006
Σύνολο θανάτων:			0,20375

Επομένως η μείωση των θανάτων στη διάρκεια ενός έτους , με την εφαρμογή του RCO₁ γίνεται:

$$\Delta PLL = N(\text{χωρίς την εφαρμογή RCOs}) - N(\text{με την εφαρμογή του RCO}_1) = \\ = 0,27445 - 0,20375 = 0,0707$$

Οπότε σε περίοδο 30 ετών, που είναι ο κύκλος ζωής του κρουαζιερόπλοιου προκύπτει :

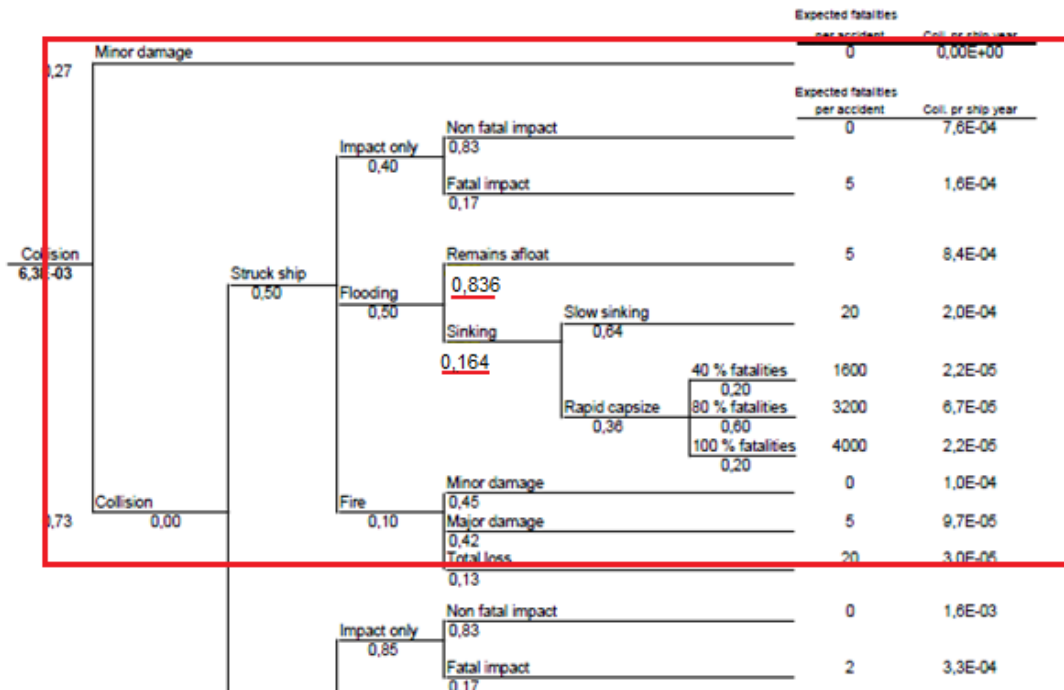
$$\Delta R_{RCO1} = \Delta PLL \times T = 0,0707 \times 30 = 2,1 \text{ θάνατοι}$$

Το ίδιο αποτέλεσμα λαμβάνουμε αναφορικά με την μείωση των θανάτων στην περίπτωση εφαρμογής του RCO₂ ,καθώς στην περίπτωση αύξησης του ύψους εξάλλων κατά 0,5m ο δείκτης A γίνεται 0,85 (οι αριθμητικοί υπολογισμοί και σε αυτή την περίπτωση βασίζονται στις μελέτες που έγιναν στα πλαίσια του Harder project, IMO 2005 και IMO 2008).

Οπότε τελικά :

$$\Delta R_{RCO2} = 2,1 \text{ θάνατοι}$$

3.2.4.2 Υπολογισμός της μείωσης των θανάτων με την εφαρμογή του μέτρου RCO₃ (προσθήκη εφεδρικής πλευστότητας στο κατάστρωμα στεγανών φρακτών)



Σχήμα 3-9: οι αλλαγές στο event tree με την εφαρμογή του RCO₃

Η αλλαγή σε σύγκριση με το event tree του σεναρίου βάσης είναι ο δείκτης A, που με την εφαρμογή του RCO₃, δηλαδή με την προσθήκη εφεδρικής πλευστότητας στο κατάστρωμα στεγανών φρακτών, γίνεται από 0,80 → 0,836 (οι αριθμητικοί υπολογισμοί για τον δείκτη A βασίζονται στις μελέτες που έγιναν στα πλαίσια του Harder project, IMO 2005 και IMO 2008) Αντίστοιχα λοιπόν η πιθανότητα το πλοίο να αρχίσει να βυθίζεται, μετά από σύγκρουση και εισόδου νερού στο εσωτερικό του γίνεται από 0,20 → 0,164 ώστε και σε αυτή την περίπτωση να ικανοποιείται η σχέση $P(\text{remains afloat}) + P(\text{sinking}) = 0,836 + 0,164 = 1$.

Πίνακας 3-4: Υπολογισμοί των αναμενόμενων θανάτων ανά έτος, με την εφαρμογή του RCO₃

Scenarios	Collision Frequency [per ship year] (1)	Expected Fatalities [per accident] (2)	Expected Fatalities [per ship year] (3)=(1)*(2)
S.1	0,00076	0	0

S.2	0,00016	5	0,0008
S.3	0,00096	5	0,0048
S.4	0,00012	20	0,0024
S.5	0,000014	1600	0,0224
S.6	0,000041	3200	0,1312
S.7	0,000014	4000	0,056
S.8	0,0001	0	0
S.9	0,000097	5	0,000485
S.10	0,00003	20	0,0006
S.11	0,0016	0	0
S.12	0,00033	2	0,00066
S.13	0,0001	2	0,0002
S.14	0,000011	20	0,00022
S.15	0,0000005	1600	0,0008
S.16	0,000001	3200	0,0032
S.17	0,0000005	4000	0,002
S.18	0,0001	0	0
S.19	0,000097	5	0,000485
S.20	0,00003	20	0,0006
Σύνολο θανάτων:			0,2293

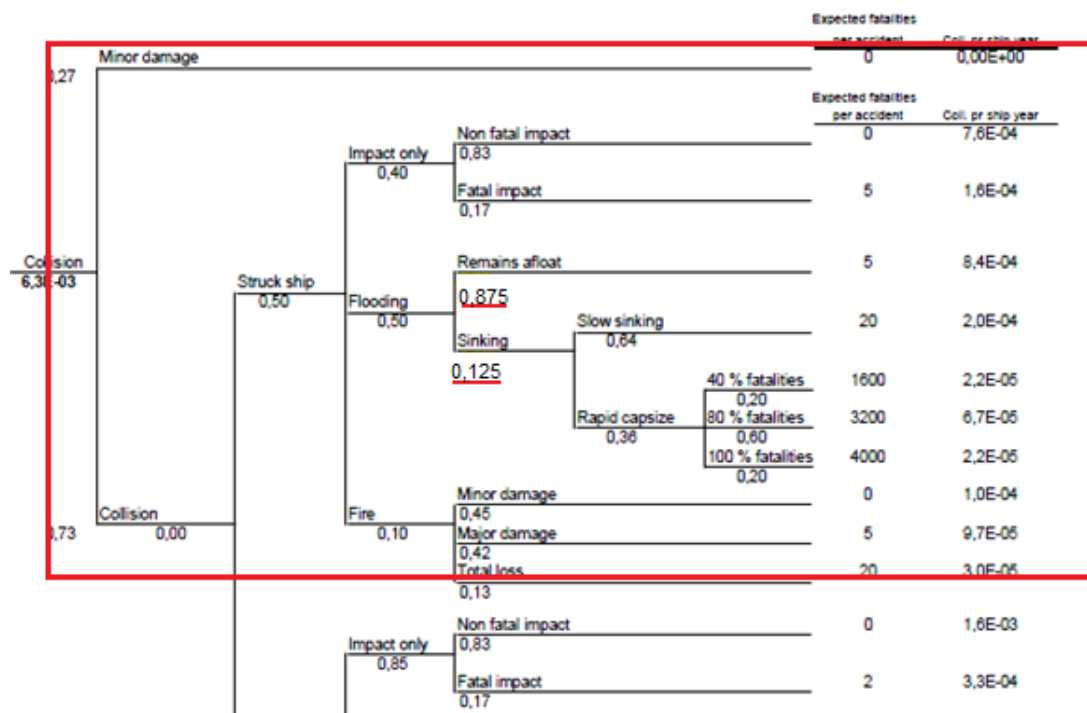
Επομένως η μείωση των θανάτων στη διάρκεια ενός έτους, με την εφαρμογή του RCO_3 γίνεται:

$$\Delta\text{PLL} = \text{N}(\text{χωρίς την εφαρμογή RCOs}) - \text{N}(\text{με την εφαρμογή του RCO}_3) = 0,27445 - 0,2293 = 0,0451$$

Οπότε σε περίοδο 30 ετών, που είναι ο κύκλος ζωής του κρουαζερόπλοιου προκύπτει :

$$\Delta\text{R}_{\text{RCO}_3} = \Delta\text{PLL} \times \text{T} = 0,0451 \times 30 = 1,35 \text{ θάνατοι}$$

3.2.4.3 Υπολογισμός της μείωσης των θανάτων με την ταυτόχρονη εφαρμογή των μέτρων RCO₁ , RCO₃



Σχήμα 3-10: οι αλλαγές στο event tree με την εφαρμογή των RCO₁ και RCO₃

Η αλλαγή σε σύγκριση με το event tree του σεναρίου βάσης είναι ο δείκτης A, που με την εφαρμογή του RCO₁ και RCO₃ , δηλαδή με την αύξηση του μετακεντρικού ύψους κατά 0,5m και την προσθήκη εφεδρικής πλευστότητας στο κατάστρωμα στεγανών φρακτών, γίνεται από 0,80 →0,875 (οι αριθμητικοί υπολογισμοί για τον δείκτη A βασίζονται στις μελέτες που έγιναν στα πλαίσια του Harder project, IMO 2005 και IMO 2008) Αντίστοιχα λοιπόν η πιθανότητα το πλοίο να αρχίσει να βυθίζεται, μετά από σύγκρουση και εισόδου νερού στο εσωτερικό του γίνεται από 0,20→0,125 ώστε και σε αυτή την περίπτωση να ικανοποιείται η σχέση $P(\text{remains afloat})+P(\text{sinking})= 0,875 + 0,125 = 1$.

Πίνακας 3-5: Υπολογισμοί των αναμενόμενων θανάτων ανά έτος, με την εφαρμογή του RCO₁ και RCO₃

Scenarios	Collision Frequency [per ship/year] (1)	Expected Fatalities [per accident] (2)	Expected Fatalities [per ship/year] (3)=(1)*(2)
S.1	0,00076	0	0
S.2	0,00016	5	0,0008
S.3	0,00101	5	0,00505
S.4	0,00009	20	0,0018

S.5	0,00001	1600	0,016
S.6	0,000031	3200	0,0992
S.7	0,00001	4000	0,04
S.8	0,0001	0	0
S.9	0,000097	5	0,000485
S.10	0,00003	20	0,0006
S.11	0,0016	0	0
S.12	0,00033	2	0,00066
S.13	0,0001	2	0,0002
S.14	0,000011	20	0,00022
S.15	0,0000005	1600	0,0008
S.16	0,000001	3200	0,0032
S.17	0,0000005	4000	0,002
S.18	0,0001	0	0
S.19	0,000097	5	0,000485
S.20	0,00003	20	0,0006
Σύνολο θανάτων:			0,1721

Επομένως η μείωση των θανάτων στη διάρκεια ενός έτους , με την εφαρμογή των RCO₁ και RCO₃ γίνεται:

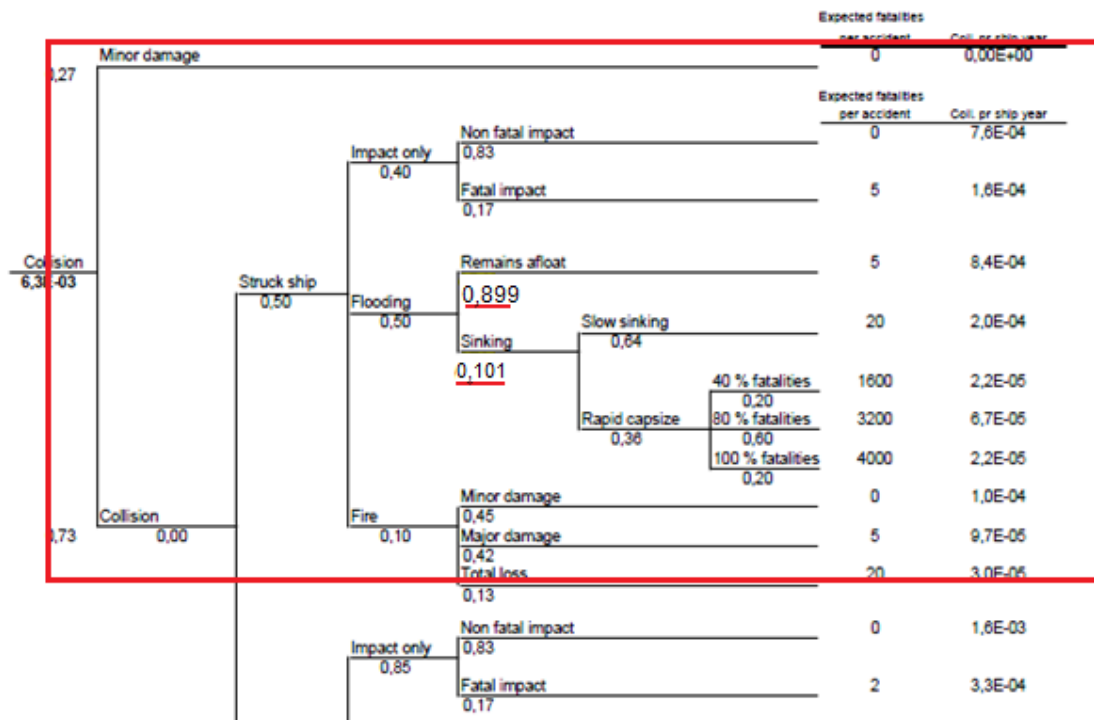
$$\Delta PLL = N(\text{χωρίς την εφαρμογή RCOs}) - N(\text{με την εφαρμογή του RCO}_1, \text{ RCO}_3) = 0,27445 - 0,1721 = 0,10235$$

Οπότε σε περίοδο 30 ετών, που είναι ο κύκλος ζωής του κρουαζιερόπλοιου προκύπτει :

$$\Delta R_{\text{RCO}_1, \text{RCO}_3} = \Delta PLL \times T = 0,10235 \times 30 = 3,07 \text{ θάνατοι}$$

3.2.4.4 Υπολογισμός της μείωσης των θανάτων με την ταυτόχρονη εφαρμογή των μέτρων RCO₁, RCO₂ και RCO₃

Η αλλαγή σε σύγκριση με το event tree του σεναρίου βάσης είναι ο δείκτης A, που με την ταυτόχρονη εφαρμογή των RCO₁, RCO₂ και RCO₃, γίνεται από 0,80 → 0,899) οι αριθμητικοί υπολογισμοί βασίζονται στις μελέτες που έγιναν στα πλαίσια του Harder project, IMO 2005 και IMO 2008)



Σχήμα 3-11: οι αλλαγές στο event tree με την εφαρμογή των RCO₁, RCO₂ και RCO₃

Αντίστοιχα λοιπόν η πιθανότητα το πλοίο να αρχίσει να βυθίζεται, μετά από σύγκρουση και εισόδου νερού στο εσωτερικό του γίνεται από 0,20→0,101 ώστε και σε αυτή την περίπτωση να ικανοποιείται η σχέση $P(\text{remains afloat})+P(\text{sinking})=0,899 + 0,101 = 1$.

Πίνακας 3-6: Υπολογισμοί των αναμενόμενων θανάτων ανά έτος, με την εφαρμογή του RCO₁, RCO₂, RCO₃

Scenarios	Collision Frequency [per ship year] (1)	Expected Fatalities [per accident] (2)	Expected Fatalities [per ship year] (3)=(1)*(2)
S.1	0,00076	0	0
S.2	0,00016	5	0,0008
S.3	0,00103	5	0,00515

S.4	0,00007	20	0,0014
S.5	0,000008	1600	0,0128
S.6	0,000025	3200	0,08
S.7	0,000008	4000	0,032
S.8	0,0001	0	0
S.9	0,000097	5	0,000485
S.10	0,00003	20	0,0006
S.11	0,0016	0	0
S.12	0,00033	2	0,00066
S.13	0,0001	2	0,0002
S.14	0,000011	20	0,00022
S.15	0,0000005	1600	0,0008
S.16	0,000001	3200	0,0032
S.17	0,0000005	4000	0,002
S.18	0,0001	0	0
S.19	0,000097	5	0,000485
S.20	0,00003	20	0,0006
Σύνολο θανάτων:			0,1414

Επομένως η μείωση των θανάτων στη διάρκεια ενός έτους, με την ταυτόχρονη εφαρμογή των RCO₁, RCO₂ και RCO₃ γίνεται:

$$\begin{aligned} \Delta PLL &= N(\text{χωρίς την εφαρμογή RCOs}) - N(\text{με την εφαρμογή του RCO}_1, \text{ RCO}_2 \text{ και RCO}_3) = \\ &= 0,27445 - 0,1414 = 0,13305 \end{aligned}$$

Οπότε σε περίοδο 30 ετών, που είναι ο κύκλος ζωής του κρουαζερόπλοιου προκύπτει :

$$\Delta R_{\text{RCO}_1, \text{RCO}_2, \text{RCO}_3} = \Delta PLL \times T = 0,13305 \times 30 = 3,99 \text{ θάνατοι}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο:

ΘΕΩΡΙΑ ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΟΥ

4 Θεωρία Χαρτοφυλακίου

4.1 Εισαγωγή

Με τον όρο χαρτοφυλάκιο (portfolio) αναφερόμαστε σε μια οποιαδήποτε συλλογή χρηματοοικονομικών περιουσιακών στοιχείων, όπως μετοχές, ομόλογα, παράγωγα και μετρητά, ενώ μπορεί να είναι στην κατοχή ιδιωτών, τραπεζών και άλλων χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων. Είναι γενικά αποδεκτή αρχή ότι ένα χαρτοφυλάκιο που έχει σχεδιαστεί σύμφωνα με την ανοχή του κινδύνου του επενδυτή, έχει σαν βασική παραδοχή ότι η τιμή μιας μετοχής έχει πιθανότητα να αυξηθεί ή να μειωθεί ανάλογα με τις διακυμάνσεις τις αγοράς και επομένως το να δημιουργούμε χαρτοφυλάκια μεμονομένων (ενός είδους) μετοχών, δεν έχει πρακτική σημασία (Markowitz, 1952). Ωστόσο, όταν τοποθετούνται μαζί, η αλληλεπίδραση μεταξύ των μετοχών μειώνει τη συνολική μεταβλητότητα των τιμών η οποία στη συνέχεια συμβάλλει στη σταθερότητα του χαρτοφυλακίου.

Θεωρητικά, ένας επενδυτής μπορεί να επιλέξει μια αναμενόμενη απόδοση και στη συνέχεια να επιδιώξει να ελαχιστοποιήσει τον κίνδυνο (μεταβλητότητα) που σχετίζεται με τον συνδυασμό των μετοχών

Ωστόσο, τις τελευταίες δεκαετίες έχουν αναπτυχθεί και τεκμηριωθεί επικρίσεις για την θεωρία του χαρτοφυλακίου, που βασίζονται κυρίως στο κατά πόσο οι αποδόσεις των επενδυτικών στοιχείων ακολουθούν στην πραγματικότητα κανονική κατανομή (κάτι που η μέθοδος θεωρεί σαν υπόθεση) και στο κατά πόσον οι επενδυτές έχουν ορθολογική συμπεριφορά, δηλαδή αποστροφή προς το ρίσκο (Shleifer, 2000). Παρόλα αυτά, η θεωρία χαρτοφυλακίου είχε καταλυτική συνεισφορά στον χρηματοπιστωτικό τομέα καθώς έδωσε τη δυνατότητα στους επενδυτές να έχουν πρόσβαση σε μια ορθολογική μεθοδολογία διαχείρισης των κεφαλαίων τους (Konno & Yamazaki, 1991).

Στις επόμενες ενότητες γίνεται αναφορά στα βασικά χαρακτηριστικά της μεθόδου που είναι η αναμενόμενη απόδοση του χαρτοφυλακίου (expected return) και ο κίνδυνος (risk).

4.1.2. Αναμενόμενη απόδοση portfolio

Με τον όρο αναμενόμενη απόδοση ενός χρεογράφου, αναφερόμαστε στο κέρδος (ή ζημιά) που μπορεί να έχει ένας επενδυτής στο τέλος μιας χρονικής περιόδου. Ο υπολογισμός της γίνεται με βάση ιστορικά δεδομένα ή με βάση μαθηματικών μοντέλων πρόβλεψης. Συνήθως προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$R_i = \frac{T_1 - T_0}{T_0}$$

όπου:

T₀: η τιμή του επενδυτικού στοιχείου στην αρχή μιας περιόδου

T₁: η τιμή του επενδυτικού στοιχείου στο τέλος της περιόδου

Ουσιαστικά όμως η αναμενόμενη απόδοση (R) προσδιορίζεται με βάση συγκεκριμένες προβλέψεις σχετικά με μια ενδεχόμενη τιμή (R_i) σε σχέση με την πιθανότητα (P_i) να συμβούν οι προβλέψεις αυτές. Άρα:

$$R = \sum (P_i R_i)$$

Με τον όρο αναμενόμενη απόδοση ενός χαρτοφυλακίου εννοούμε το σταθμικό άθροισμα των επιμέρους χρεογράφων και περιγράφεται από τη σχέση:

$$R_p = \sum_i^n W_i E(R_i)$$

όπου:

- **E(R_i)** είναι ο αναμενόμενος βαθμός απόδοσης του χρεογράφου i,
- **W_i** είναι το ποσοστό του χρεογράφου i στο χαρτοφυλάκιο, και
- **n** είναι ο αριθμός των χρεογράφων στο χαρτοφυλάκιο.

4.1.3 Κίνδυνος για το portfolio (πορτοφόλιο)

Με τον όρο κίνδυνο, εννοούμε την αβεβαιότητα που διακρίνει τον ακριβή υπολογισμό της μελλοντικής απόδοσης ενός χρεογράφου σε σχέση με μια μέση αναμενόμενη αξία του. Ο κίνδυνος προσδιορίζεται μαθηματικά με την τυπική απόκλιση της κατανομής πιθανοτήτων των αποδόσεων κάθε χρεογράφου. Σε ό,τι αφορά ένα χαρτοφυλάκιο, ο κίνδυνός του σχετίζεται με τους κινδύνους των επιμέρους επενδυτικών στοιχείων, καθώς και με τον συντελεστή συσχέτισης των επενδυτικών στοιχείων. Η τιμή του υπολογίζεται από την τετραγωνική ρίζα της σχέσης:

$$\sigma_p^2 = \sum_i^n W_i^2 \sigma_i^2 + \sum_i^n \sum_{j \neq i}^n W_i W_j \rho_{ij}$$

όπου:

- σ_i είναι ο κίνδυνος του χρεογράφου i ,
- w_i είναι το ποσοστό του χρεογράφου i στο χαρτοφυλάκιο,
- w_j είναι το ποσοστό του χρεογράφου j στο χαρτοφυλάκιο,
- ρ_{ij} είναι ο συντελεστής συσχέτισης των χρεογράφων i και j ,
- n είναι ο αριθμός των χρεογράφων στο χαρτοφυλάκιο.

4.1.4 Συντελεστής συσχέτισης

Ο συντελεστής συσχέτισης (correlation coefficient) που παίρνει τιμές από -1 έως 1 και ουσιαστικά εκφράζει τη σχέση που παρουσιάζουν οι αλλαγές στις αποδόσεις του ενός επενδυτικού στοιχείου σε σχέση με αυτές που εμφανίζονται στις αποδόσεις ενός άλλου. Υπάρχουν οι εξής περιπτώσεις:

- α)** η αύξηση της απόδοσης του ενός είναι πιθανό να παρουσιάζει ανάλογη αύξηση της απόδοσης του άλλου (ρ_{ij} έχει τιμή κοντά στο 1),
- β)** η αύξηση της απόδοσης του ενός είναι πιθανό να παρουσιάζει ανάλογη μείωση της απόδοσης του άλλου (ρ_{ij} έχει τιμή κοντά στο -1),
- γ)** η συσχέτιση της μεταβολής των αποδόσεών τους να μην παρουσιάζει καμία ή πολύ μικρή συσχέτιση (ρ_{ij} έχει τιμή κοντά στο 0).

Ο υπολογισμός του συντελεστή συσχέτισης 2 χρεογράφων i και j προκύπτει από την σχέση:

$$\rho_{ij} = \frac{cov(i,j)}{\sigma_i \sigma_j}$$

όπου:

cov(i,j) είναι η συνδιακύμανση των στοιχείων i και j,

σ_i είναι ο κίνδυνος του χρεογράφου i,

σ_j είναι ο κίνδυνος του χρεογράφου j.

4.1.5 Οφέλη από τη διαφοροποίηση και αποδοτικά χαρτοφυλάκια

Στα χρηματοοικονομικά, **διαφοροποίηση** είναι η διαδικασία μείωσης του κινδύνου ενός χαρτοφυλακίου επενδύοντας σε χρεόγραφα με μικρό συντελεστή συσχέτισης. Μάλιστα ένα διαφοροποιημένο portfolio θα έχει μικρότερο ρίσκο από τον σταθμικό μέσο όρο των κινδύνων κάθε χρεογράφου, και καμιά φορά μικρότερο κίνδυνο ακόμα και από το χρεόγραφο με τον μικρότερο κίνδυνο (Sullivan et al., 2013)

Ένα χαρτοφυλάκιο λέγεται **αποδοτικό** αν δεν υπάρχει κανένα άλλο που 1ον) με τον δεδομένο κίνδυνο να έχει μεγαλύτερη απόδοση και 2ον) με δεδομένη απόδοση να έχει μικρότερο κίνδυνο.

Με τη βοήθεια ενός παραδείγματος δύο χρεογράφων θα επιχειρηθεί να αποσαφηνιστούν τα οφέλη που προκύπτουν από τη διαφοροποίηση του χαρτοφυλακίου, καθώς και να γίνει αντιληπτή η έννοια του αποδοτικού χαρτοφυλακίου. Προηγουμένως δείξαμε ότι η αναμενόμενη απόδοση του χαρτοφυλακίου υπολογίζεται ως το σταθμικό άθροισμα των επιμέρους χρεογράφων. Επομένως στην περίπτωση δύο χρεογράφων A και B με ποσοστά συμμετοχής στο χαρτοφυλάκιο W_A και W_B αντίστοιχα, προκύπτει ότι:

$$E(R_p) = W_A E(R_A) + W_B E(R_B)$$

Σε ό,τι αφορά τον συνολικό κίνδυνο του χαρτοφυλακίου, αυτός υπολογίζεται από την τετραγωνική ρίζα της σχέσης:

$$\sigma_p^2 = W_A^2 \sigma_A^2 + W_B^2 \sigma_B^2 + 2W_A W_B \sigma_A \sigma_B \rho_{12}$$

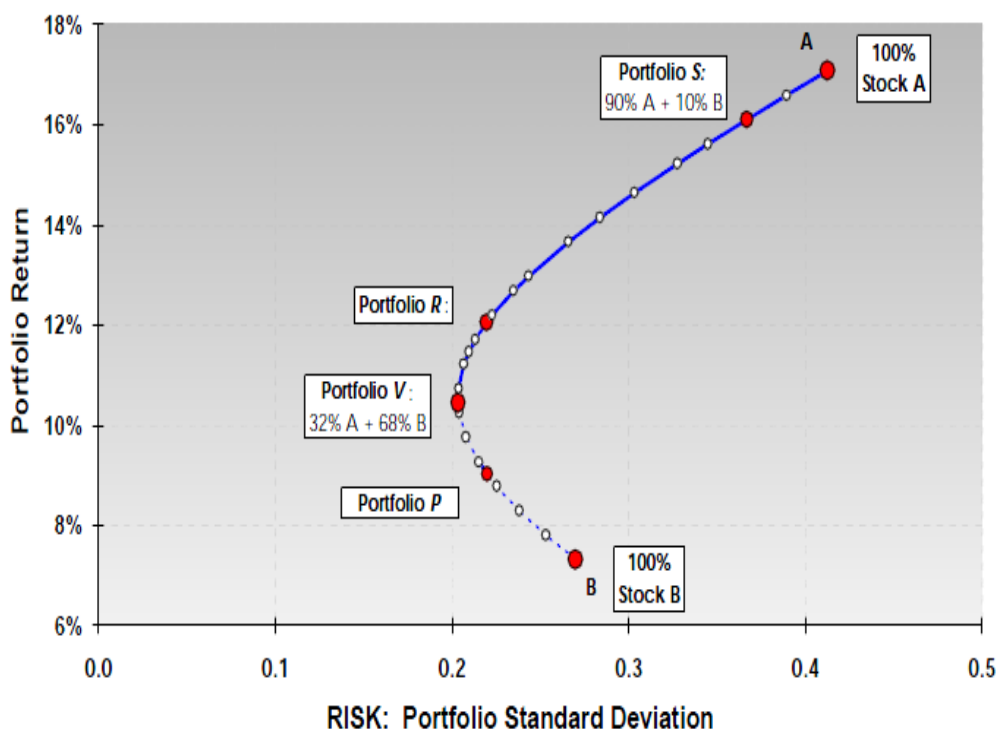
Στην εξίσωση υπεισέρχεται και ο συντελεστής συσχέτισης ρ_{12} των δύο χρεογράφων. Είναι εμφανές από την παραπάνω σχέση ότι στην περίπτωση που ο συντελεστής συσχέτισης των δύο χρεογράφων έχει χαμηλή συσχέτιση ή υψηλή αρνητική συσχέτιση, τότε ο συνδυασμός τους μπορεί να μειώσει το συνολικό ρίσκο του πορτοφολίου (Luenberger, 1998).

Στο παράδειγμα που θα χρησιμοποιήσουμε, οι τιμές της αναμενόμενης απόδοσης και του αντίστοιχου ρίσκου των δύο χρεογράφων τους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4-1: Αναμενόμενη Απόδοση και Κίνδυνος των χρεογράφων A, B

Χρεόγραφο	$E(R_i)$	σ_i
A	17%	0,41
B	7,20%	0,26

Στο Σχήμα 4-1, η καμπύλη παριστάνει όλα τα πιθανά χαρτοφυλάκια που περιέχουν τα δύο αυτά επενδυτικά στοιχεία σε διαφορετικά ποσοστά. Ο συντελεστής συσχέτισης που επιλέξαμε στα πλαίσια του παραδείγματος αυτού είναι $\rho_{12} = 0,6$.



Σχήμα 4-1: Επίδραση του χαρτοφυλακίου για χαρτοφυλακιο με δύο χρεόγραφα

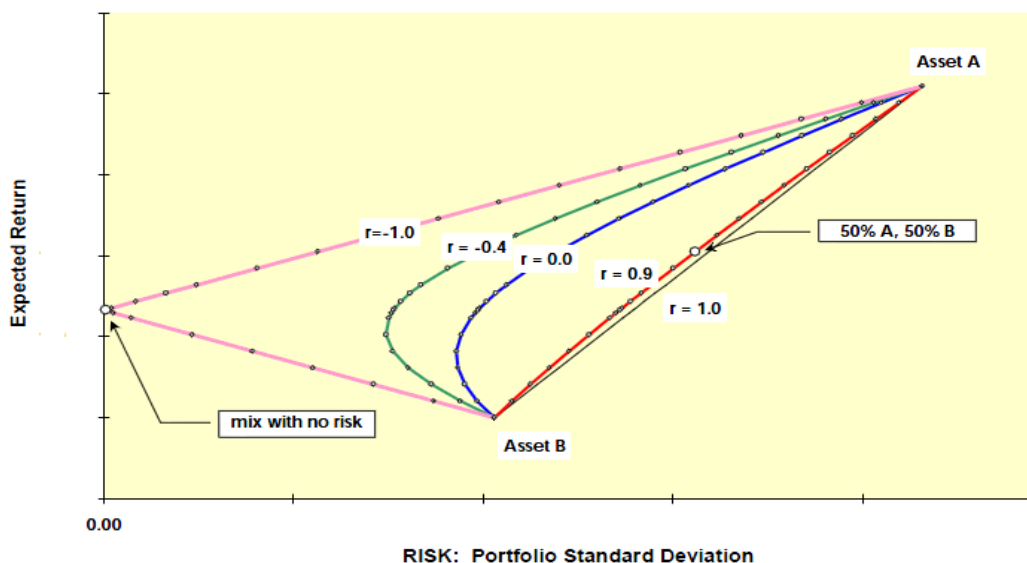
Συγκεκριμένα, το χρεόγραφο A παρουσιάζει υψηλότερη αναμενόμενη απόδοση αλλά και υψηλότερο κίνδυνο από το άλλο (B). Αν λοιπόν στο χαρτοφυλάκιο που αποτελείται από 100% χρεόγραφο A (επενδυτικό στοιχείο υψηλής απόδοσης) και προσθέσαμε σταδιακά ένα ποσοστό του χρεογράφου B (επενδυτικό στοιχείο χαμηλής απόδοσης), παρατηρείται μείωση του συνολικού ρίσκου του χαρτοφυλακίου, μέχρι την ελαχιστοποίηση του ρίσκου (σημείο V). Παρατηρούμε ότι το ελάχιστο ρίσκο είναι χαμηλότερο από το ρίσκο του χρεογράφου B, λόγω της επίδρασης χαρτοφυλακίου. Γίνεται έτσι εμφανές ότι με τον κατάλληλο συνδυασμό χρεογράφων, είναι δυνατή η κατασκευή ενός χαρτοφυλακίου με συνολικό ρίσκο χαμηλότερο από το ρίσκο κάθε χρεογράφου ξεχωριστά (Zhou et al., 2012).

Από τη γράφημα γίνεται αντιληπτό ότι :

A) Τα χαρτοφυλάκια που βρίσκονται στην περιοχή ανάμεσα από τα σημεία V και B πάνω στην καμπύλη δεν είναι αποδοτικά, αφού υπάρχουν συνδυασμοί των A και B που για την ίδια τιμή ρίσκου παρουσιάζουν υψηλότερες αποδόσεις . Παράδειγμα αποτελεί το χαρτοφυλάκιο R που ενώ παρουσιάζει το ίδιο ρίσκο με το χαρτοφυλάκιο P, έχει υψηλότερη απόδοση από αυτό.

B) Το τμήμα της καμπύλης μεταξύ των σημείων V και A θεωρούμε ότι διαμορφώνει ένα πεδίο αποδοτικών χαρτοφυλακίων (efficient portfolios). Είναι ζήτημα των επενδυτών που επιθυμούν αποδόσεις υψηλότερες από αυτές του χαρτοφυλακίου V αν θα αποδεχθούν υψηλότερο ρίσκο προσθέτοντας μεγαλύτερο ποσοστό του χρεογράφου A στο χαρτοφυλάκιο τους. Γενικά ένας επενδυτής με αποστροφή στο ρίσκο θα επιλέξει ένα χαρτοφυλάκιο με μικρότερο ρίσκο, αλλά και μικρότερη απόδοση (δηλαδή κοντά στην περιοχή του V), ενώ ένας επενδυτής με διάθεση να ρισκάρει θα επιλέξει χαρτοφυλάκια με μεγαλύτερη απόδοση αλλά και μεγαλύτερο κίνδυνο (περιοχή κοντά στο A). Οπότε συμπεραίνουμε ότι στην περίπτωση δύο χρεογράφων που ενέχουν ρίσκο και ανάλογα με τη στάση/προσέγγιση του εκάστοτε επενδυτή, δεν υπάρχει ένα μόνο βέλτιστο χαρτοφυλάκιο, αλλά ένα εύρος αποδοτικών συνδυασμών, οπότε η καμπύλη VA αποτελεί το αποδοτικό σύνορο (efficient frontier) .

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η καμπύλη αποδοτικών χαρτοφυλακίων για διάφορες τιμές του συντελεστή συσχέτισης ρ_{12} για το παράδειγμα που χρησιμοποιήσαμε παραπάνω.



Σχήμα 4-2: Η επίδραση του συντελεστή συσχέτισης στην καμπύλη αποδοτικών χαρτοφυλακίων 2 χρεογράφων

Αυτό που παρατηρούμε είναι ότι για τιμές του συντελεστή συσχέτισης κοντά στη μονάδα η καμπύλη των αποδοτικών χαρτοφυλακίων τείνει να γίνει ευθεία, οπότε χάνει τα οφέλη που προκύπτουν από τη διαφοροποίηση. Το αντίθετο συμβαίνει για χαμηλές θετικές και για αρνητικές τιμές του συντελεστή συσχέτισης

Ιδιαίτερη αξία έχει να αναφερθούμε στην επίδραση ενός χρεογράφου μηδενικού κινδύνου. Αυτό έχει μηδενικό συντελεστή συσχέτισης με τα υπόλοιπα χρεοόγραφα, ενώ παράδειγμά αυτής της κατηγορίας αποτελούν τα έντοκα γραμματια του δημοσίου. Η έννοια "μηδενικός κίνδυνος" δεν ιχθεί στην πραγματικότητα, καθώς ακόμα και τα γραμμάτια αυτά έχουν ρίσκο καθώς η τιμή τους μεταβάλλεται απ' το τον πληθωρισμό.

4.1.6 Αναλυτική ιεραρχική διαδικασία (Analytic Hierarchy Process-AHP)

Η αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (AHP) είναι μια δομημένη τεχνική για την οργάνωση και την ανάλυση πολύπλοκων αποφάσεων. Αναπτύχθηκε από τον Thomas L. Saaty στη δεκαετία του 1970 (Saaty 1977, Saaty, 1980) και από τότε έχει μελετηθεί και τελειοποιηθεί εκτενώς. Πλέον έχει καθιερωθεί σαν μία από τις πλέον σημαντικές μεθόδους στη διαδικασία λήψης αποφάσεων με πολύ ευρύ φάσμα εφαρμογών, από τον οικονομικό τομέα (Orgler, 1990), τον πολιτικό (Huang et al., 2008) μέχρι και περιβαλλοντικά ζητήματα (Wolfsleher et al., 2005).

Το ισχυρό σημείο της AHP είναι η ικανότητά της να διαρθρώνει ιεραρχικά ένα πολύπλοκο πρόβλημα πολλαπλών κριτηρίων και στη συνέχεια να ερευνά κάθε επίπεδο ιεραρχίας χωριστά, συνδυάζοντας τα αποτελέσματα καθώς προχωρά η ανάλυση. Ο σχεδιασμός της κάθε ιεραρχικής διαδικασίας δεν εξαρτάται μόνο από τη φύση του προβλήματος αλλά και από τη γνώση, την κρίση, τις ανάγκες, τις απόψεις, τα θέλω των ερευνητών και των οργανισμών έρευνας (Saaty & Forman, 1992). Καθώς ενσωματώνονται νέα στοιχεία στην AHP, η ιεραρχία μπορεί να διαμορφωθεί και να προστεθούν σε αυτήν κριτήρια που αρχικά δεν είχαν θεωρηθεί σημαντικά. Επίσης, με την ίδια λογική, εναλλακτικές μπορούν να προστεθούν, να αφαιρεθούν, ή να αλλάξουν (Saaty, 1999). Η μέθοδος αναλύεται σε 4 βήματα από τα οποία το πρώτο και το δεύτερο απαιτούν τη συμμετοχή μιας ομάδας ειδικών που θα λάβουν αποφάσεις, ενώ τα δύο τελευταία προκύπτουν ύστερα από δομημένους υπολογισμούς.

Πιο συγκεκριμένα, τα τέσσερα βήματα της AHP είναι τα εξής:

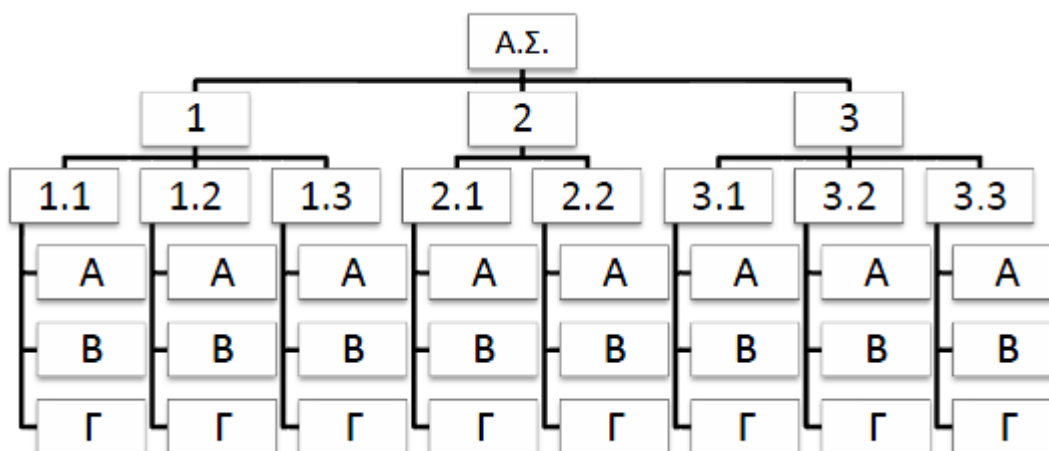
- 1ο)** Η διαμόρφωση του προβλήματος ως μια ιεραρχική δομή που περιλαμβάνει, τον στόχο απόφασης, τις εναλλακτικές λύσεις για την επίτευξή του καθώς και τα κριτήρια πάνω στα οποία βασίζεται η αξιολόγηση των εναλλακτικών αυτών λύσεων.
- 2ο)** Εισαγωγή προτεραιοτήτων μεταξύ των στοιχείων της ιεραρχίας παίρνοντας μια σειρά αποφάσεων με βάση συγκρίσεις κατά ζεύγη των στοιχείων.
- 3ο)** Επιμέρους υπολογισμός προτεραιοτήτων (βαρών) των στοιχείων απόφασης.
- 4ο)** Σύνθεση των επιμέρους προτεραιοτήτων για να προκύψουν τελικά οι γενικές προτεραιότητες των εναλλακτικών λύσεων.

Στη συνέχεια γίνεται εκτενής περιγραφή των βημάτων της μεθόδου

1ο βήμα: Ιεραρχική Ανάλυση του προβλήματος

Η ιεραρχική ανάλυση της διαδικασίας αποτελεί το σημαντικότερο βήμα της διαδικασίας, καθώς η σωστή ανάλυση και ιεράρχηση των στοιχείων απόφασης (κριτήρια απόδοσης) του προβλήματος θα καθορίσει τα τελικά αποτελέσματα της μεθόδου. Κατά τον (Δεσπότης, 2002) ο απώτερος στόχος αναλύεται σε επιμέρους υπό-στόχους, οι οποίοι στη συνέχεια αναλύονται όλο και περισσότερο στα πρότυπα μιας ιεραρχικής δομής. Η ιεραρχική αυτή δομή έχει τη μορφή δέντρου, στην κορυφή της οποίας βρίσκεται ο απώτερος στόχος, ο οποίος αποτελεί και το τελικό ζητούμενο στο πρόβλημα λήψης απόφασης. Ο απώτερος στόχος με τη σειρά του αναλύεται σ' έναν αριθμό συγκεκριμένων υπό-στόχων και όσο 'κατεβαίνει' κανείς προς τα κάτω στην ιεραρχική δομή τα κριτήρια αναλύονται παραιτέρω μέχρι ότου να επιτευχθεί η

σύγκριση των εναλλακτικών λύσεων. Στο παρακάτω Σχήμα παρουσιάζεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας ιεραρχικής ανάλυσης απόφασης στα πλαίσια της ΑΗΡ.



Σχήμα 4-3: Παράδειγμα για ιεραρχική ανάλυση απόφασης.

Ο απώτερος στόχος αναλύεται σε 3 υπό-στόχους, καθένας από τους οποίους αναλύεται με τη σειρά του σε επιμέρους κριτήρια (πχ ο υπό-στόχος 1 στα κριτήρια 1.1, 1.2 και 1.3) και τελικά στο τελευταίο επίπεδο της ιεραρχικής δομής βρίσκονται οι εναλλακτικές επιλογές οι οποίες θα αξιολογηθούν στα επόμενα βήματα της διαδικασίας.

2ο βήμα: Εισαγωγή προτεραιοτήτων μεταξύ των στοιχείων της ιεραρχίας

Στο πλαίσιο αυτού του βήματος, σε κάθε επίπεδο της ιεραρχικής δομής πραγματοποιούνται κατά ζεύγη συγκρίσεις των στοιχείων του ως προς την προτίμηση του ενός έναντι του άλλου, σε σχέση με το κριτήριο του αμέσως ανώτερου επιπέδου.

Έτσι λοιπόν, για ένα ζεύγος συγκρίσεων η διαβάθμιση των προτιμήσεων του αποφασίζονται και εκφράζονται ως εξής :

- **I:** το X είναι ισοδύναμο με το Y ($X \ I \ Y$),
- **WP:** η προτίμηση X είναι ασθενής έναντι του Y (weak preference- $X \ WP \ Y$),
- **SP:** η προτίμηση X είναι ισχυρή έναντι του Y (strong preference- $XSPY$),
- **DP:** η προτίμηση X είναι πολύ ισχυρή έναντι του Y (very strong pref.- $X \ DP \ Y$),
- **AP:** η προτίμηση X είναι απόλυτη έναντι του Y (absolute preference- $X \ AP \ Y$).

Η διαβάθμιση $R=\{I,WP,SP,DP,AP\}$ σύμφωνα με τον Saaty μπορεί να αντιστοιχηθεί αριθμητικά στην κλίμακα 1, 3, 5, 7, και 9 ενώ για την έκφραση των ενδιάμεσων προτιμήσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τιμές 2, 4, 6, και 8. Τελικά οι διαβαθμίσεις των προτιμήσεων εκφρασμένες αριθμητικά παρουσιάζονται όπως παρακάτω (Saaty 1980).

Πίνακας 4-2: Κλίμακα χρησιμοποιούμενη για συγκρίσεις ανά ζεύγη

Τιμή	Ορισμός	Εξήγηση
1	Ίση σπουδαιότητα	Και οι δύο παράγοντες συμβάλλουν εξίσου στον στόχο ή το κριτήριο.
3	Μικρή σπουδαιότητα ενός σε σχέση με άλλον	Η πείρα και η κρίση ευνοούν ελαφρώς τον έναν παράγοντα σε σχέση με τον άλλον.
5	Βασική ή μεγάλη σπουδαιότητα	Η πείρα και η κρίση ευνοούν σαφώς τον έναν παράγοντα σε σχέση με τον άλλον.
7	Πολύ ισχυρή ή αποδεδειγμένη σπουδαιότητα	Ένας παράγοντας ευνοείται ιδιαίτερα σε σχέση με έναν άλλον. Η κυριαρχία του αποδεικνύεται στην πράξη.
9	Απόλυτη σπουδαιότητα σε σχέση με άλλον	Τα στοιχεία που ευνοούν έναν παράγοντα είναι αδιαμφισβήτητα.
2, 4, 6, και 8	Ενδιάμεσες τιμές	Χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται συμβιβασμός.
0	Καμία σχέση	Ο παράγοντας δεν συμβάλλει στον στόχο.

Οι αντίστροφες των τιμών 1, 3, 5, 7, και 9 αντιστοιχούν σε αντίστροφες προτιμήσεις. Με βάση λοιπόν τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα, οι κατά ζεύγη συγκρίσεις εκφράζονται με τις τιμές α_{ij} όπως αυτές φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα, όπου ουσιαστικά τα στοιχεία απόφασης 1, 2, ..., i συγκρίνονται ως προς τη συμμετοχή τους στην εκπλήρωση του Απώτερου Στόχου (ΑΣ) .

Πίνακας 4-3: Τιμές για τις συγκρίσεις κατά ζεύγη.

A.Σ.	1	2	...	j
1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1j}
2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2j}
...
i	a_{i1}	a_{i2}	...	a_{ij}

όπου:

- $a_{ii} = 1$, αφού αναφέρονται σε συγκρίσεις στοιχείων με τον εαυτό τους ,
- $a_{ij} > 1$, όταν το στοιχείο i προτιμάται έναντι του j ,
- $a_{ij} < 1$, όταν το στοιχείο j προτιμάται έναντι του i ,
- $a_{ij} = 1/a_{ji}$, για κάθε i, j .

Οπότε για έναν πίνακα $n \times n$ διαστάσεων , οι συγκρίσεις κατά ζεύγη που πρέπει να γίνουν ισούνται με $n \times \frac{(n-1)}{2}$.

3ο βήμα: Επιμέρους υπολογισμός προτεραιοτήτων(βαρών) για τα στοιχεία απόφασης

Στο 3ο αυτό βήμα της μεθόδου υπολογίζονται οι σχετικές προτεραιότητες (βάρη) των στοιχείων απόφασης ως προς το γονικό στοιχείο. Τα βάρη w_i εκφράζουν το σχετικό βάρος με το οποίο, σύμφωνα με την γνώμη του εκάστοτε ειδικού συμμετέχει το κριτήριο απόφασης i στην εκπλήρωση του γονικού στόχου. Η λογική του Saaty για τον υπολογισμό των σχετικών βαρών των στοιχείων απόφασης είναι ότι αν ο αποφασίζων ήταν σε θέση να γνωρίζει τα πραγματικά σχετικά βάρη των στοιχείων απόφασης, τότε ο πίνακας των κατά ζεύγη συγκρίσεων θα παρουσιαζόταν με τη μορφή που φαίνεται στον παρακάτω , όπου από τις γραμμές και τις στήλες του Πίνακα υπολογίζονται εύκολα τα σχετικά βάρη (Saaty, 1980).

Πίνακας 4-4: Θεωρητικός πίνακας σχετικών βαρών.

A.Σ.	Σ.A.1	Σ.A.2	Σ.A.3	βάρη
Σ.A.1	w_1/w_1	w_1/w_2	w_1/w_3	w₁
Σ.A.2	w_2/w_1	w_2/w_2	w_2/w_3	w₂
Σ.A.3	w_3/w_1	w_3/w_2	w_3/w_3	w₃

Για έναν τέτοιο πίνακα A, ισχύει ότι:

$$Aw = n \times w,$$

όπου w είναι το διάνυσμα των πραγματικών σχετικών βαρών και n το πλήθος των προς σύγκριση στοιχείων (στον παραπάνω πίνακα n=3). Από τη Γραμμική Άλγεβρα ορίζονται τα n ως η μέγιστη ιδιοτιμή και w το αντίστοιχο ιδιοδιάνυσμα του πίνακα A. Έστω τώρα ότι για όλα τα στοιχεία του πίνακα ισχύουν $a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$ για κάθε i, j, και k. Τότε, ο πίνακας καλείται **συνεπής**. Η ιδιότητα αυτή όμως θεωρεί ως δεδομένο ότι για τον πίνακα A τα σχετικά βάρη είναι εξ αρχής γνωστά. Όμως στην πραγματικότητα ο λήπτης των αποφάσεων δεν είναι σε θέση να ορίζει με ακρίβεια ποια θα είναι τα στοιχεία του Πίνακα, τους λόγους δηλαδή των βαρών, που δηλώνουν την σχετική προτίμηση του ενός στοιχείου απόφασης έναντι του άλλου. Στην περίπτωση αυτή λοιπόν ο προσδιορισμός των βαρών γίνεται από τη σχέση:

$$Aw = \lambda_{max} \times w$$

όπου σε σχέση με την προηγούμενη σχέση το λ_{max} εκφράζει τη μέγιστη ιδιοτιμή του Πίνακα A. Πρόσθετα, για το λ_{max} μπορούμε να το θεωρήσουμε ως μια εκτίμηση του n, του πλήθους δηλαδή των προς σύγκριση στοιχείων. Μάλιστα έχει αποδειχτεί ότι $\lambda_{max} \geq n$. Στο πλαίσιο της AHP, οι κατά ζεύγη συγκρίσεις σε μια μήτρα απόφασης (όπως είναι ο Πίνακας A) θεωρείται ότι είναι επαρκώς συνεπής εάν η αντίστοιχη αναλογία συνέπειας (CR) είναι μικρότερη από 0,1 (Δεσπότης & Τριανταφύλλου, 2000). Η αναλογία συνέπειας ορίζεται από τη σχέση :

$$CR = \frac{CI}{RI} \times 100,$$

όπου CI είναι ο δείκτης συνέπειας (consistency index) που δίνεται από τη σχέση:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$$

και ο δείκτης RI προκύπτει ως η μέση τιμή των δεικτών συνέπειας που προκύπτουν βάσει των προτεραιοτήτων από πίνακες που δημιουργούνται με τυχαίο τρόπο με τη βοήθεια προσομοιώσεων. Μέσω προσομοίωσης λοιπόν, ο Saaty πέτυχε τα ακόλουθα αποτελέσματα (Saaty, 1980):

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Στην περίπτωση που δεν ικανοποιείται η συνθήκη ότι ο CR να είναι μικρότερος από 0,1, τότε ο αναλυτής καλείται να επανεξετάσει τον Πίνακα A, ώστε να αρθούν οι ανακολουθίες, οι οποίες σχετίζονται είτε με τον λήπτη των αποφάσεων, είτε με την κλίμακα έκφρασης των προτιμήσεων. Οι ανακολουθίες αυτές ελέγχονται με τον βαθμό στον οποίο παραβιάζονται οι ιδιότητες :

- α) αν $a_{ij} > 1$ και $a_{jk} > 1$, τότε και $a_{ik} > 1$,
- β) $a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$ για κάθε (i, j, και k)

Η πρώτη ιδιότητα εκφράζει τη μεταβατικότητα των προτιμήσεων και η παραβίασή της σχετίζεται με την αστοχία της εκτίμησης του αποφασίζοντα, ενώ η δεύτερη ιδιότητα σχετίζεται με την κλίμακα των προτιμήσεων και η μη παραβίασή της σημαίνει απόλυτη συνέπεια των απαντήσεων του αποφασίζοντα. Ωστόσο το γεγονός της μη επαλήθευσής της πολλές φορές, δεν καθιστά ανεπαρκή την κλίμακα του Saaty καθώς ίδια θα ήταν η κατάληξη σε οποιαδήποτε φραγμένη κλίμακα (Δεσπότης, 2002).

Σε ότι αφορά τον υπολογισμό του ιδιοδιανύσματος w, αυτός ακολουθεί την παρακάτω διαδικασία:

- 1) αθροίζονται όλα τα στοιχεία του πίνακα κατά γραμμή:

$$s_i = \sum_j a_{ij}, \quad \text{για κάθε } i$$

2) Για κάθε γραμμή του πίνακα υπολογίζουμε το βάρος του αντίστοιχου στοιχείου απόφασης ως το πηλίκο της διαίρεσης του αθροίσματος των στοιχείων της γραμμής του πίνακα (s_i) δια το άθροισμα των στοιχείων όλου του πίνακα , δηλαδή:

$$w_i = \frac{s_i}{\sum_i \sum_j a_{ij}}$$

έτσι λαμβάνεται το διάνυσμα w των βαρών, για τις συνιστώσες του οποίου ισχύει $\sum w_i = 1$.

4ο βήμα: Σύνθεση των επιμέρους βαρών για να προκύψουν τελικά οι γενικές προτεραιότητες των εναλλακτικών λύσεων

Σε αυτό το βήμα γίνεται η σύνθεση των επιμέρους βαρών των στοιχείων απόφασης, ώστε να προκύψουν οι γενικές προτεραιότητες των εναλλακτικών λύσεων. Τα βάρη των διαφόρων εναλλακτικών υπολογίζονται από τη σχέση :

$$\sum_j (W_j R_{ij})$$

όπου W_j ο πίνακας των βαρών των κριτηρίων και

R_{ij} ο πίνακας των βαθμολογιών των εναλλακτικών λύσεων.

Ουσιαστικά γίνεται πολλαπλασιασμός πινάκων προτεραιοτήτων (βαρών) ακολουθώντας την ιεραρχική δομή από το κατώτερο προς το ανώτερο επίπεδο, όπου τα βάρη των στοιχείων ενός επιπέδου συνθέτουν τον πίνακα βαρών, ο οποίος πολλαπλασιάζεται με τα βάρη του ανώτερου στην ιεραρχική δομή επιπέδου. Έτσι επαναλαμβάνοντας αυτή τη διαδικασία εκφράζουμε τα βάρη των εναλλακτικών λύσεων ως προς τον απώτερο στόχο.

4.2 Υπολογισμός συνδυασμού RCO με Portfolio Analysis

4.2.1 Εισαγωγή

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενες ενότητες, στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μεθοδολογιών υπολογισμού της μείωσης του ρίσκου ατυχημάτων σε πλοία, με την εφαρμογή κατάλληλα επιλεγμένων μέτρων περιορισμού του ρίσκου (RCOs). Ουσιαστικά με τη μεθοδολογία που αναπτύσσεται στο παρών κεφάλαιο, θα αντιστοιχίσουμε το χαρτοφυλάκιο χρηματοπιστωτικών προϊόντων με το χαρτοφυλάκιο RCOs. Σαν απόδοση των RCOs για κρουαζιερόπλοια, ορίζουμε τα μεγέθη ΔR (την μείωση του αριθμού θανάτων σε ατυχήματα) και $DR(\%)$ (την ποσοστιαία μείωση του αριθμού θανάτων σε ατυχήματα). Θεωρούμε την απόδοση των μέτρων σαν μια κατανομή πιθανοτήτων. Οι τιμές της απόδοσης έχουν προκύψει από την FSA για cruise ships με χρήση δεντρογραμμάτων (event trees), αλλά για να είναι εφικτό η μεθοδολογία να επεκταθεί και σε άλλες κατηγορίες πλοίων όπου η μείωση του ρίσκου προκύπτει από συνδυασμό της γνώμης ειδικών και στατιστικών δεδομένων (FSA για τάνκερς), θα ακολουθήσουμε τα ακόλουθα βήματα.

Θα θεωρήσουμε την τιμή της μείωσης του αριθμού των θανάτων που προέκυψε από το δενδρόγραμμα μετά την εφαρμογή των RCOs, σαν να επρόκειτο για το τελικό αποτέλεσμα μιας μεθοδολογίας απόφασης μεταξύ ειδικών την επικείμενη μείωση που επιτυγχάνεται με την χρήση συγκεκριμένων RCOs, όπου την τελική τιμή που πρότειναν, θα την ορίσουμε ως τη μέση τιμή:

- μιας Κανονικής κατανομής
- μιας κατανομής Γάμμα ,

ενώ για την τυπική απόκλιση των παραπάνω κατανομών , από βιβλιογραφία που μοντελοποιεί τη γνώμη ειδικών (Leden et al., 1999) και (Hora S., 20012) θεωρήσαμε τιμή ίση με το 20% της μέσης τιμής.

4.2.2 Αριθμητικός υπολογισμός

4.2.2.1 Περίπτωση α': οι τιμές της απόδοσης ακολουθούν κανονική κατανομή

Για τα RCO που χρησιμοποιήθηκαν και σε προηγούμενα κεφάλαια, αν θεωρήσουμε την τελική τιμή της μείωσης του αριθμού των θανάτων που επιφέρουν σαν την μέση τιμή μιας κανονικής κατανομής με τυπική απόκλιση ίση με 20% αυτής, θα προκύψει συγκετρωτικά:

Πίνακας 4-5: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση των RCO που χρησιμοποιήθηκαν

	<i>RCO₁</i>	<i>RCO₂</i>	<i>RCO₃</i>
<i>mean=</i>	2,1	2,1	1,35
<i>st.dev.=</i>	0,42	0,42	0,27

Τα βάρη του κάθε RCO στο χαρτοφυλάκιο καθορίστηκαν με βάση την **Αναλυτική ιεραρχική διαδικασία (AHP)**, που αναπτύχθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ως απώτερο στόχο (ΑΣ) θέσαμε τη βέλτιστη μείωση των αναμενόμενων θανάτων λόγω σύγκρουσης πλοίων, και επιλέξαμε ως κριτήρια για να οριστούν οι επιμέρους προτεραιότητες τα :

- $\Delta C/\Delta R$
- $\Delta B/\Delta C$
- $(\Delta C-\Delta B) / DR_s$

όπου:

ΔC είναι το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης για κάθε RCO

ΔB είναι το οικονομικό όφελος ανά πλοίο, υπολογισμένο από την εισαγωγή του εκάστοτε RCO ΔR είναι η μείωση του ρίσκου, μετρούμενη σε αριθμούς θανάτων που αποφεύχθηκαν λόγω του RCO

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται οι κατά ζεύγη συγκρίσεις των RCOS ως προς τα τρία κριτήρια που περιγράψαμε. Οι τιμές των προς σύγκριση δίνονται στην FSA για κρουαζιερόπλοια. Ουσιαστικά ακολουθήθηκε το 2ο και 3ο βήμα της διαδικασίας που περιγράφηκε αναλυτικά στο 2ο κεφάλαιο.

- ως προς το κριτήριο $\frac{\Delta C}{\Delta R}$

Πίνακας 4-6: Κατά ζεύγη συγκρίσεις ως προς το κριτήριο $\frac{\Delta C}{\Delta R}$

	<i>RCO1</i>	<i>RCO2</i>	<i>RCO3</i>
<i>RCO1</i>	1	1	4,39
<i>RCO2</i>	1	1	4,39
<i>RCO3</i>	0,23	0,23	1

και τελικά οι προτεραιότητες των RCOs ως προς το κριτήριο αυτό είναι :

Πίνακας 4-7: Προτεραιότητες των μέτρων ως προς το κριτήριο $\frac{\Delta C}{\Delta R}$

	$\Delta C/\Delta R$
<i>RCO1</i>	0,4489
<i>RCO2</i>	0,4489
<i>RCO3</i>	0,1022

- ως προς το κριτήριο $\frac{\Delta C - \Delta B}{\Delta R}$

Πίνακας 4-8: Κατά ζεύγη συγκρίσεις ως προς το κριτήριο $\frac{\Delta C - \Delta B}{\Delta R}$

	<i>RCO1</i>	<i>RCO2</i>	<i>RCO3</i>
<i>RCO1</i>	1	1,90	36,24
<i>RCO2</i>	0,53	1	19,06
<i>RCO3</i>	0,03	0,05	1

και τελικά οι προτεραιότητες ως προς το κριτήριο αυτό είναι :

Πίνακας 4-9: Προτεραιότητες των μέτρων ως προς το κριτήριο $\frac{\Delta C - \Delta B}{\Delta R}$

	$(\Delta C - \Delta B)/\Delta R$
<i>RCO1</i>	0,6438
<i>RCO2</i>	0,3385
<i>RCO3</i>	0,0178

- ως προς το κριτήριο $\frac{\Delta B}{\Delta C}$

Πίνακας 4-10: Κατά ζεύγη συγκρίσεις ως προς το κριτήριο $\frac{\Delta B}{\Delta C}$

	<i>RCO1</i>	<i>RCO2</i>	<i>RCO3</i>
<i>RCO1</i>	1	1,64	3,63
<i>RCO2</i>	0,61	1	2,21
<i>RCO3</i>	0,28	0,45	1

και τελικά οι προτεραιότητες ως προς το κριτήριο αυτό είναι :

Πίνακας 4-11: Προτεραιότητες των μέτρων ως προς το κριτήριο $\frac{\Delta B}{\Delta C}$

	$\frac{\Delta B}{\Delta C}$
<i>RCO1</i>	0,5307
<i>RCO2</i>	0,3232
<i>RCO3</i>	0,1461

Για να καταλήξουμε στα πιο αποδοτικά χαρτοφυλάκια πραγματοποιούμε μια ανάλυση ευαισθησίας για τα επιμέρους κριτήρια, ορίζοντας επί της ουσίας διαφορετικούς συντελεστές βαρύτητας για το καθένα από αυτά. Οι συνδυασμοί των συντελεστών βαρύτητας που θα μελετήσουμε παρουσιάζονται παρακάτω:

Πίνακας 4-12: Ποσοστά Βαρύτητας των κριτηρίων ανά χαρτοφυλάκιο

<i>Χαρτοφυλάκια</i>	<i>ΚΡΙΤΗΡΙΑ</i>		
	$\Delta C/\Delta R$	$\Delta C-\Delta B/\Delta R$	$\Delta B/\Delta C$
<i>A</i>	80%	10%	10%
<i>B</i>	20%	70%	10%
<i>Γ</i>	30%	30%	40%
<i>Δ</i>	60%	30%	10%
<i>E</i>	35%	45%	20%
<i>Z</i>	45%	20%	35%
<i>H</i>	20%	30%	50%
<i>Θ</i>	10%	50%	40%

Οπότε με πολλαπλασιασμό του τελευταίου πίνακα και των τελικών πινάκων που δείχνουν πως κατανέμονται οι προτεραιότητες για τα RCOs για τα επιμέρους κριτηρία, προκύπτει τελικά πως κατανέμονται τα βάρη των RCOs στα προς εξέταση χαρτοφυλάκια

Πίνακας 4-13: Ποσοστά βαρύτητας των RCOs ανά χαρτοφυλάκιο

	RCO ₁	RCO ₂	RCO ₃
A	47,66 %	42,53 %	9,82 %
B	59,35 %	35,90 %	4,75 %
Γ	54,01 %	36,55 %	9,44 %
Δ	51,55 %	40,32 %	8,13 %
E	55,29 %	37,41 %	7,30 %
Z	51,65 %	38,28 %	10,07 %
H	54,83 %	35,29 %	9,88 %
Θ	57,91 %	34,34 %	7,75 %

1α) Για τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των χαρτοφυλακίων που αποτελούνται από RCOs με απόδοση ΔR (μείωσης θανάτων) έχουμε:

Πίνακας 4-14: Απόδοση των χαρτοφυλακίων RCOs

Χαρτοφυλάκια		Βάρη (W)	R (RCOs)	R (χαρτοφυλακίου)
		%	N που αποτράπηκαν	N που αποτράπηκαν
A	RCO₁	47,66	2,1	2,026
	RCO₂	42,53	2,1	
	RCO₃	9,82	1,35	
B	RCO₁	59,35	2,1	2,064
	RCO₂	35,90	2,1	
	RCO₃	4,75	1,35	

Γ	RCO ₁	54,01	2,1	2,029
	RCO ₂	36,55	2,1	
	RCO ₃	9,44	1,35	
Δ	RCO ₁	51,55	2,1	2,039
	RCO ₂	40,32	2,1	
	RCO ₃	8,13	1,35	
Ε	RCO ₁	55,29	2,1	2,045
	RCO ₂	37,41	2,1	
	RCO ₃	7,30	1,35	
Ζ	RCO ₁	51,65	2,1	2,024
	RCO ₂	38,28	2,1	
	RCO ₃	10,07	1,35	
Η	RCO ₁	54,83	2,1	2,026
	RCO ₂	35,29	2,1	
	RCO ₃	9,88	1,35	
Θ	RCO ₁	57,91	2,1	2,042
	RCO ₂	34,34	2,1	
	RCO ₃	7,75	1,35	

και για τις τυπικές αποκλίσεις (standard deviation) αντίστοιχα

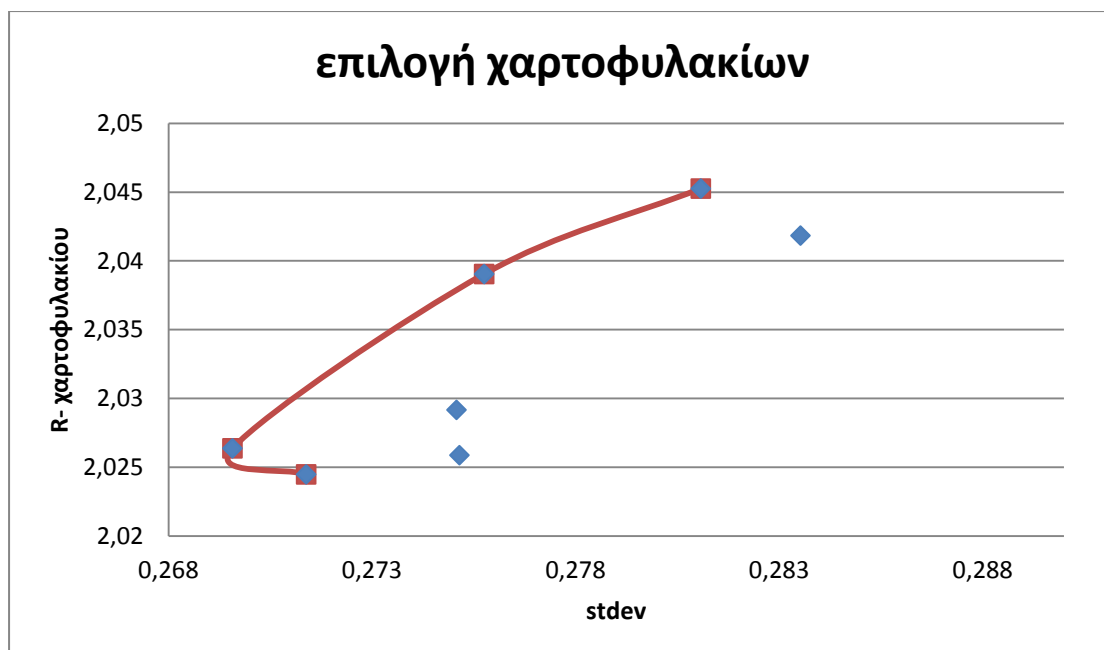
Πίνακας 4-15: Τυπική απόκλιση των χαρτοφυλακίων RCOs

Χαρτοφυλάκια		Βάρη (W)	stand.deviation	stand.deviation
		%	(RCOs)	χαρτοφυλακίων
A	RCO1	47,66	0,42	0,270
	RCO2	42,53	0,42	
	RCO3	9,82	0,27	
B	RCO1	59,35	0,42	0,292
	RCO2	35,90	0,42	
	RCO3	4,75	0,27	

Γ	RCO1	54,01	0,42	0,275
	RCO2	36,55	0,42	
	RCO3	9,44	0,27	
Δ	RCO1	51,55	0,42	0,276
	RCO2	40,32	0,42	
	RCO3	8,13	0,27	
Ε	RCO1	55,29	0,42	0,281
	RCO2	37,41	0,42	
	RCO3	7,30	0,27	
Ζ	RCO1	51,65	0,42	0,271
	RCO2	38,28	0,42	
	RCO3	10,07	0,27	
Η	RCO1	54,83	0,42	0,275
	RCO2	35,29	0,42	
	RCO3	9,88	0,27	
Θ	RCO1	57,91	0,42	0,284
	RCO2	34,34	0,42	
	RCO3	7,75	0,27	

Αξίζει να σημειωθεί ότι στους υπολογισμούς των τυπικών αποκλίσεων των χαρτοφυλακίων θεωρήσαμε ότι οι συντελεστές συσχέτισης είναι 0, δηλαδή ότι τα μέτρα είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους.

Τα αποδοτικά χαρτοφυλάκια RCO είναι αυτά πάνω στην κόκκινη γραμμή:



Σχήμα 4-4: Αποδοτικά Χαρτοφυλάκια RCO

1β) Αντίστοιχα για τις μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των χαρτοφυλακίων που αποτελούνται από RCOs για την απόδοση ΔR των οποίων ορίζουμε την % μείωση του αριθμού των θανάτων από ατυχήματα έχουμε:

Πίνακας 4-16: Απόδοση των χαρτοφυλακίων RCOs

Χαρτοφυλάκια		Βάρη (W)	R (RCOs)	R (χαρτοφυλακίου)
		%	% μείωση θανάτων	% μείωση θανάτων
A	RCO ₁	47,66	25,5	24,607
	RCO ₂	42,53	25,5	
	RCO ₃	9,82	16,4	
B	RCO ₁	59,35	25,5	25,068
	RCO ₂	35,90	25,5	
	RCO ₃	4,75	16,4	
Γ	RCO ₁	54,01	25,5	24,641
	RCO ₂	36,55	25,5	
	RCO ₃	9,44	16,4	

Δ	RCO ₁	51,55	25,5	24,761
	RCO ₂	40,32	25,5	
	RCO ₃	8,13	16,4	
Ε	RCO ₁	55,29	25,5	24,836
	RCO ₂	37,41	25,5	
	RCO ₃	7,30	16,4	
Ζ	RCO ₁	51,65	25,5	24,584
	RCO ₂	38,28	25,5	
	RCO ₃	10,07	16,4	
Η	RCO ₁	54,83	25,5	24,601
	RCO ₂	35,29	25,5	
	RCO ₃	9,88	16,4	
Θ	RCO ₁	57,91	25,5	24,795
	RCO ₂	34,34	25,5	
	RCO ₃	7,75	16,4	

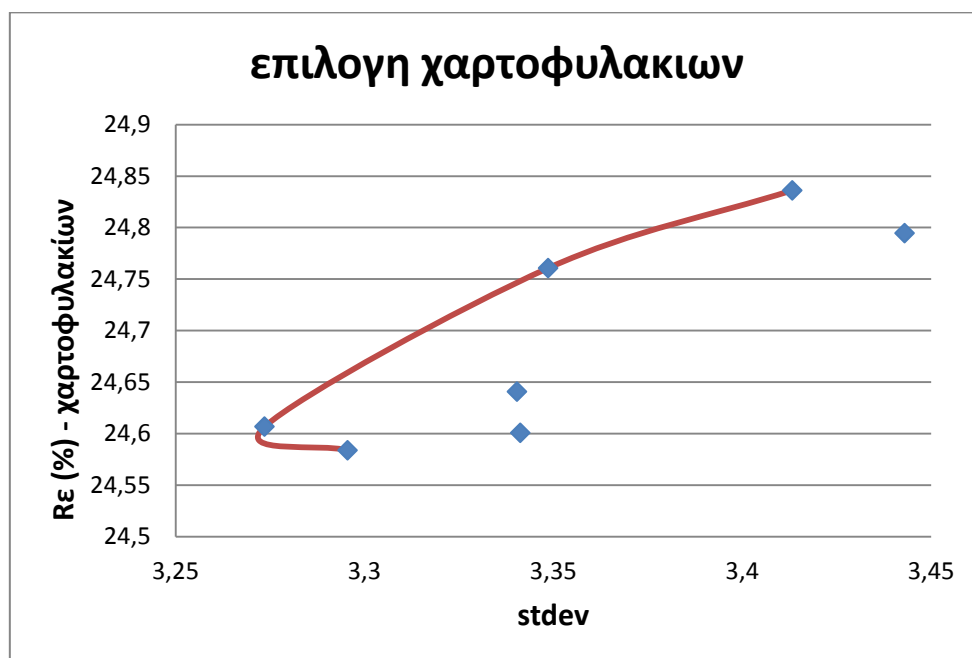
και

Πίνακας 4-17: Τυπική απόκλιση των χαρτοφυλακίων RCOs

Χαρτοφυλάκια		Βάρη (W)	stand.deviation	stand.deviation
		%	(RCOs)	χαρτοφυλακίων
Α	RCO ₁	47,66	5,10	3,27
	RCO ₂	42,53	5,10	
	RCO ₃	9,82	3,28	
Β	RCO ₁	59,35	5,10	3,54
	RCO ₂	35,90	5,10	
	RCO ₃	4,75	3,28	
Γ	RCO ₁	54,01	5,10	3,34
	RCO ₂	36,55	5,10	
	RCO ₃	9,44	3,28	

Δ	RCO ₁	51,55	5,10	3,35
	RCO ₂	40,32	5,10	
	RCO ₃	8,13	3,28	
Ε	RCO ₁	55,29	5,10	3,41
	RCO ₂	37,41	5,10	
	RCO ₃	7,30	3,28	
Ζ	RCO ₁	51,65	5,10	3,30
	RCO ₂	38,28	5,10	
	RCO ₃	10,07	3,28	
Η	RCO ₁	54,83	5,10	3,34
	RCO ₂	35,29	5,10	
	RCO ₃	9,88	3,28	
Θ	RCO ₁	57,91	5,10	3,44
	RCO ₂	34,34	5,10	
	RCO ₃	7,75	3,28	

οπότε τα αποδοτικά χαρτοφυλάκια είναι αυτά πάνω στην κόκκινη γραμμή:



Σχήμα 4-5: Αποδοτικά Χαρτοφυλάκια RCOs

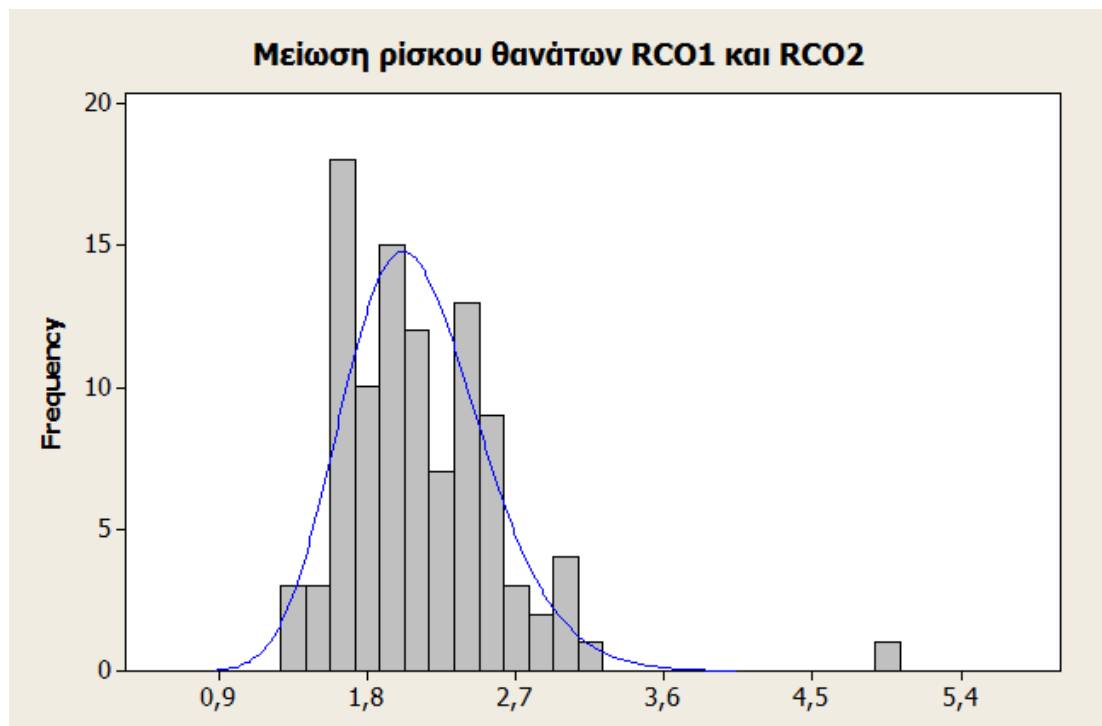
4.2.2.2 Περίπτωση β': οι τιμές της απόδοσης ακολουθούν κατανομή Γάμμα

Για την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση της κατανομής-Γάμμα ισχύει:

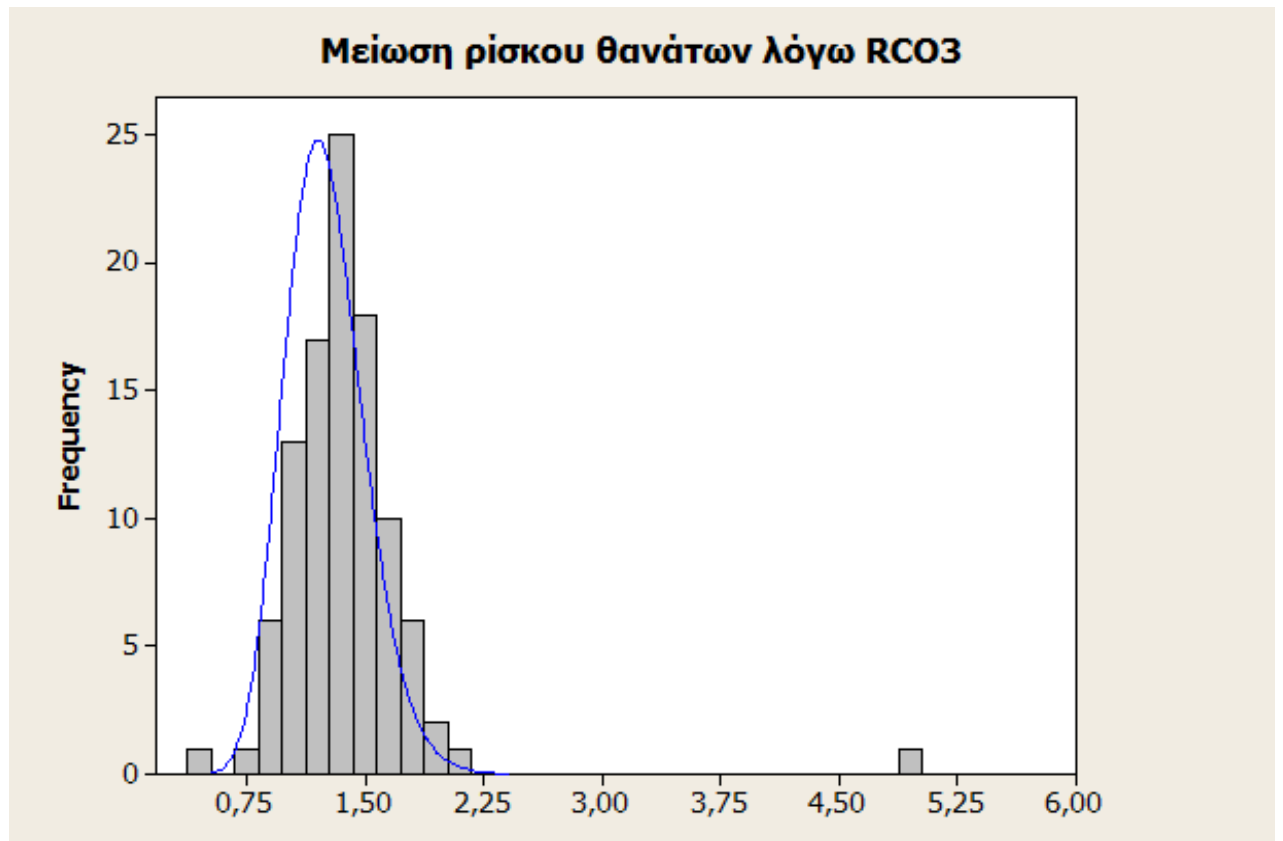
$$mean = \kappa \theta \quad (1) \quad \text{και} \quad st. dev = \sqrt{\kappa \theta} \quad (2)$$

Όπως και στην περίπτωση που οι τιμές της απόδοσης των RCOs ακολουθούσαν κατανομή κατανομή, θεωρήσαμε την τιμή της απόδοσης που προέκυψε από τους ειδικούς σαν την μέση τιμή της κατανομής γάμμα και την τυπική απόκλιση και εδώ, την ορίσαμε ίση με 20% της μέσης τιμής.

Από τις σχέσεις (1) και (2) υπολογίζουμε τις παραμέτρους κ και θ της κατανομής-Γάμμα, και μέσω του Microsoft Excel και της εντολής παράξαμε 100 τυχαίες τιμές που ακολουθούν κατανομή-Γάμμα, έχοντας σαν παραμέτρους τις τιμές των κ και θ . Οπότε τις αποδόσεις των RCO_1 , RCO_2 και RCO_3 παράγουμε 100 τυχαίες τιμές, των οποίων οι κατανομές φαίνονται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 4-6: Κατανομή της απόδοσης των μέτρων RCO_1 και RCO_2

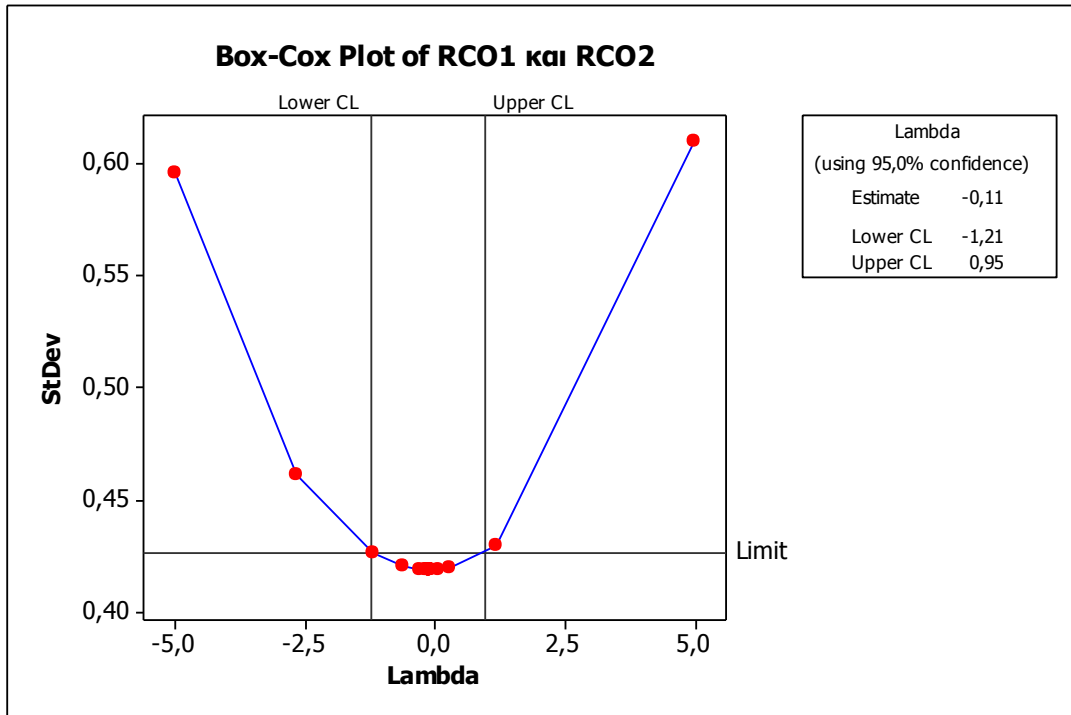


Σχήμα 4-7: Κατανομή της απόδοσης των μέτρων RCO₃

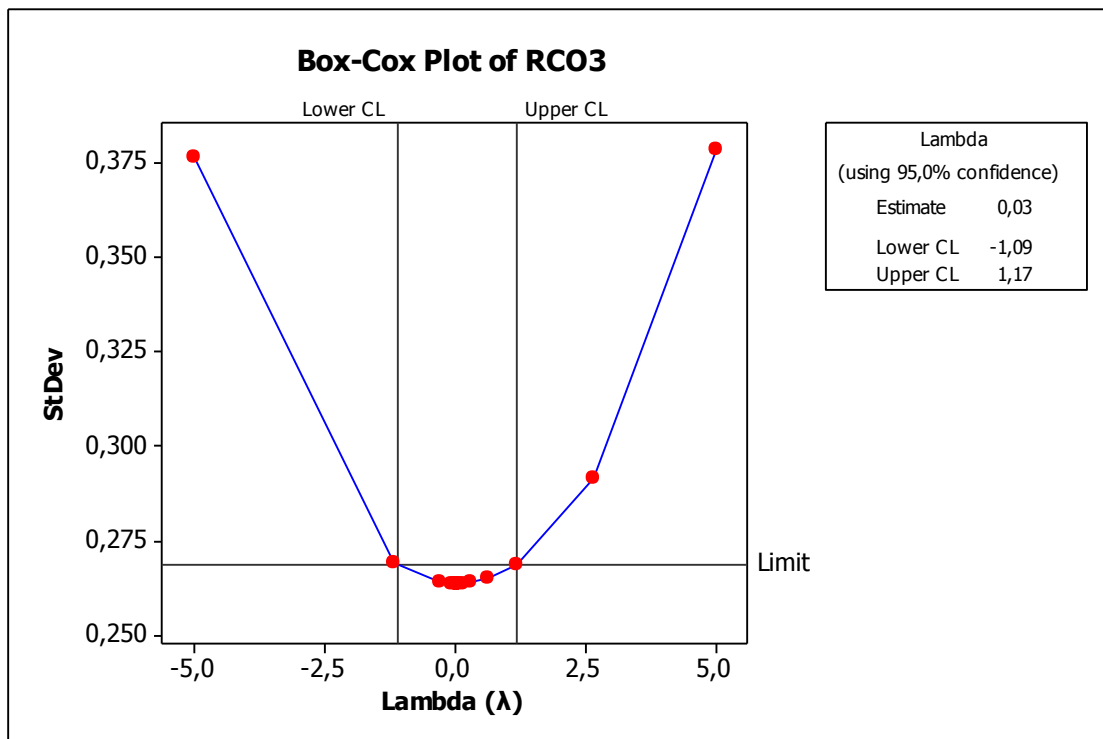
Στη συνέχεια μέσω του **BOX-COX** μετασχηματισμού και με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος MINITAB 16.1 , μετασχηματίζουμε τις τιμές της κατανομής ώστε αυτές να προσεγγίζουν την κανονική κάτι που αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην **portfolio analysis**.

Ο BOX-COX μετασχηματισμός αποτελεί εργαλείο ώστε δεδομένα να μετασχηματίζονται σε κατανομές που προσεγγίζουν με μεγάλη ακρίβεια την κανονική. Στη βιβλιογραφία, υπάρχει παράδειγμα χρήσης του μετασχηματισμού ώστε κλινικά και εργαστηριακά δεδομένα να προσεγγίζουν την κανονική κατανομή με σκοπό στη συνέχεια να αναπτυχθούν μονομεταβλητές κανονικές σειρές για τον υποθετικά υγιή πληθισμό (Rode et al., 1998) και παράδειγμα όπου με τον μετασχηματισμό επιτυγχάνεται η μετατροπή σε κανονική κατανομή των αποτελεσμάτων θεραπειών σε ζώα ώστε αυτά να πληρούν τις προϋποθέσεις της ANOVA ανάλυσης (Peltier et al., 1988)

Έτσι η επιλογή του λ που μετατρέπει την κατανομή γάμμα σε κανονική είναι $\lambda = -0,11$ για τις περιπτώσεις των RCO₁ και RCO₂ και $\lambda = 0,03$ για το RCO₃



Σχήμα 4-8: Επιλογή του λ που μετατρέπει τα RCO_1 και RCO_2 σε κανονική κατανομή



Σχήμα 4-9: Επιλογή του λ που μετατρέπει τα RCO_3 σε κανονική κατανομή

Οι παρακάτω πίνακες περιλαμβάνουν τις 100 τυχαίες τιμές που ακολουθούν **Κατανομή Γάμμα** και παρήχθησαν στο excel έχοντας σαν παραμέτρους τα κ και Θ τέτοιες ώστε να προκύπτει η ίδια μέση τιμή και τυπική απόκλιση όπως και στην περίπτωση που είχαμε επιλέξει τη **Κανονική κατανομή** για την μοντελοποίηση των αποδόσεων. Οπότε επιλέγοντας ως λ τις τιμές -0,11 για τα RCO_1 , RCO_2 και 0,03 για το RCO_3 από τον Box Cox μετασχηματισμό προκύπτουν τα εξής δεδομένα:

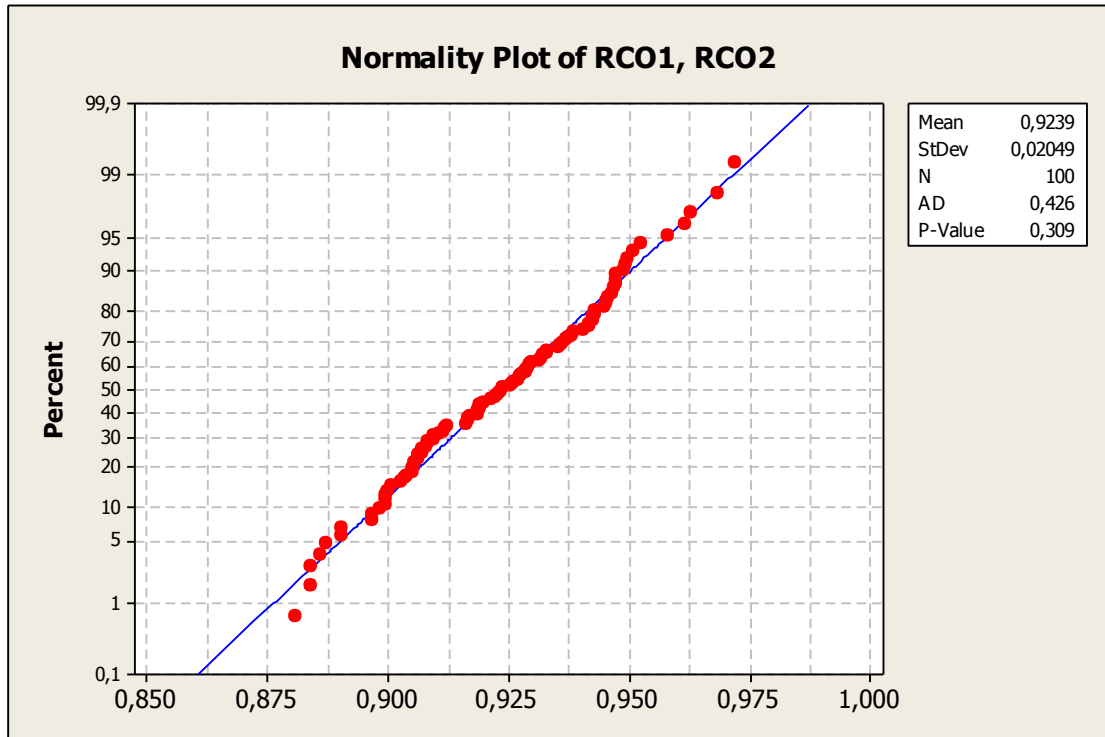
Πίνακας 4-18: Δεδομένα που προκύπτουν μετά τον Box Cox μετασχηματισμό

Κατανομή Γάμμα		Δοδομένα μετά τον μετασχηματισμό	
		$\lambda = -0,11$	$\lambda = 0,03$
RCO1, RCO2	RCO3	RCO1, RCO2	RCO3
1,6032	1,1922	0,9494	1,00016
1,9534	1,3160	0,9290	1,00025
2,8747	1,7166	0,8903	1,00049
1,6732	1,5402	0,9450	1,00039
1,9694	1,6562	0,9282	1,00045
1,9040	1,6127	0,9316	1,00043
1,4255	1,8415	0,9618	1,00055
2,5158	1,1652	0,9035	1,00014
2,1929	1,5405	0,9173	1,00039
2,4727	1,4283	0,9052	1,00032
2,6172	1,0467	0,8996	1,00004
1,9455	1,7621	0,9294	1,00051
1,7425	1,6105	0,9407	1,00043
1,8320	1,7242	0,9356	1,00049
1,9831	0,8799	0,9275	0,99988
1,4757	0,9613	0,9581	0,99996
2,4603	1,7455	0,9057	1,00050
2,6503	1,2568	0,8983	1,00021
2,1553	1,1359	0,9190	1,00011
2,4610	1,0072	0,9057	1,00001
2,3632	1,5474	0,9097	1,00039
1,7029	1,7758	0,9431	1,00052
2,0037	1,6613	0,9264	1,00046
2,0771	1,2379	0,9227	1,00019
1,6079	1,1048	0,9491	1,00009
2,2036	1,2331	0,9168	1,00019
1,7853	1,3665	0,9382	1,00028
2,6868	1,3285	0,8970	1,00026
2,4373	1,3073	0,9067	1,00024

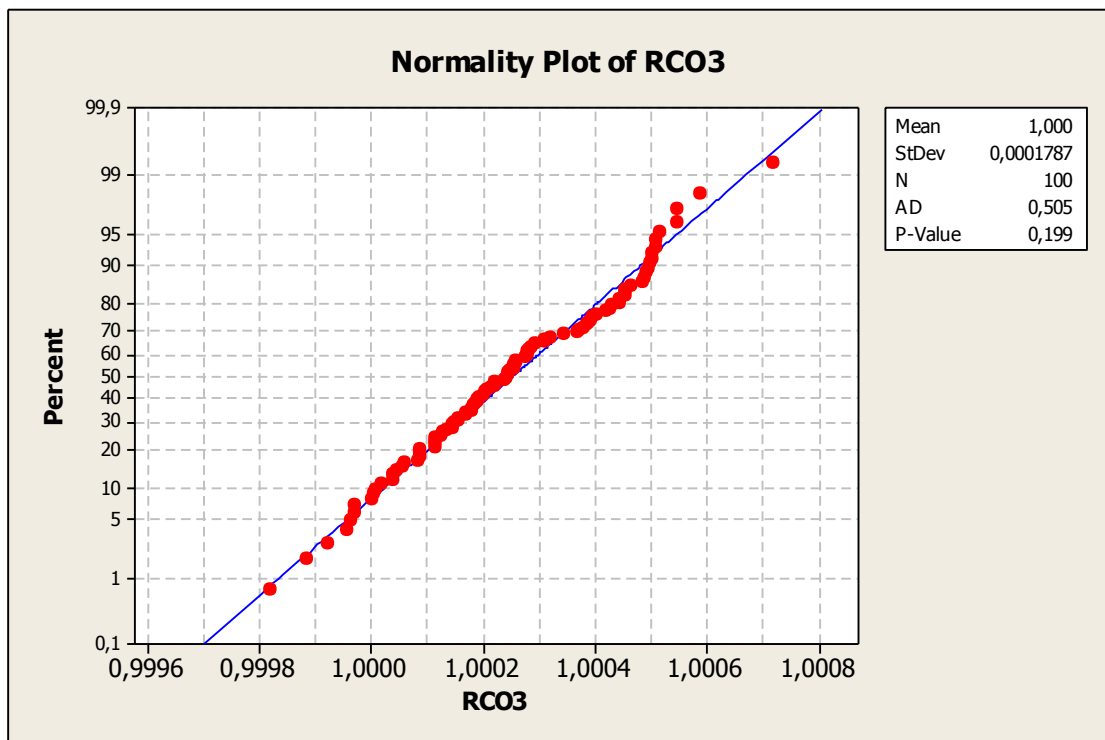
1,6304	1,2592	0,9476	1,00021
1,6547	1,1810	0,9461	1,00015
1,6433	1,7287	0,9468	1,00049
1,8948	1,2247	0,9321	1,00018
2,1009	1,0470	0,9216	1,00004
2,9694	1,2715	0,8872	1,00022
2,0863	2,2272	0,9223	1,00072
2,6057	1,2810	0,9000	1,00022
1,9595	1,4686	0,9287	1,00035
1,8164	1,2804	0,9365	1,00022
1,7025	1,4118	0,9432	1,00031
1,8223	1,1524	0,9361	1,00013
1,4080	1,3316	0,9631	1,00026
2,4264	1,2826	0,9071	1,00022
3,1651	1,0213	0,8810	1,00002
2,4459	1,3136	0,9063	1,00025
2,1558	1,3184	0,9190	1,00025
1,6349	1,2537	0,9474	1,00020
2,5278	1,5063	0,9030	1,00037
2,0520	1,1050	0,9240	1,00009
1,9599	1,7348	0,9287	1,00050
1,5545	1,3619	0,9526	1,00028
2,1500	1,6410	0,9192	1,00045
2,9980	1,0539	0,8862	1,00005
2,1341	1,0675	0,9200	1,00006
1,6641	1,6761	0,9455	1,00046
1,5797	1,8385	0,9509	1,00055
3,0660	1,5266	0,8840	1,00038
1,8900	1,2224	0,9324	1,00018
3,0683	1,5529	0,8840	1,00040
2,6848	0,8213	0,8971	0,99982
2,2130	1,7646	0,9163	1,00051
2,3912	1,3349	0,9086	1,00026
1,6315	1,1567	0,9476	1,00013
1,7250	1,0990	0,9418	1,00008
1,2925	1,1918	0,9722	1,00016
2,0651	1,6411	0,9233	1,00045
1,8728	0,9548	0,9333	0,99996
2,6169	1,1393	0,8996	1,00012
1,9367	1,0688	0,9299	1,00006
2,3167	1,2283	0,9117	1,00019
1,7733	0,9189	0,9389	0,99992
2,2986	1,7478	0,9125	1,00050
2,0081	1,0092	0,9262	1,00001
2,3929	1,3644	0,9085	1,00028

2,1497	1,3786	0,9193	1,00029
2,3689	1,5964	0,9095	1,00042
1,8763	0,9706	0,9331	0,99997
2,0165	1,1378	0,9257	1,00012
1,7088	1,3343	0,9428	1,00026
2,2055	1,2084	0,9167	1,00017
2,3359	1,0049	0,9109	1,00000
1,3366	1,6587	0,9686	1,00046
1,7238	1,9221	0,9419	1,00059
1,6661	1,7488	0,9454	1,00050
2,4233	1,3318	0,9072	1,00026
2,5782	1,3876	0,9011	1,00029
1,5930	1,1398	0,9501	1,00012
1,7961	1,5158	0,9376	1,00037
2,4013	1,1755	0,9081	1,00015
1,8071	1,2367	0,9370	1,00019
2,4759	1,2405	0,9051	1,00019
2,1497	1,5672	0,9193	1,00040
1,7104	1,3108	0,9427	1,00024
1,9844	0,9714	0,9274	0,99997
1,6405	1,4120	0,9470	1,00031
2,4988	1,1043	0,9042	1,00009
2,8643	1,3646	0,8907	1,00028
2,3080	1,1759	0,9121	1,00015
2,0619	1,2075	0,9235	1,00017
2,6144	1,3704	0,8997	1,00028

Για να επιβεβαιώσουμε ότι οι μετασχηματισμένες τιμές ακολουθούν κανονική κατανομή, με τη βοήθεια του λογισμικού **MINITAB** εφαρμόσαμε το Anderson-Darling τεστ κανονικότητας, από που ο δείκτης **p-value** και για τα 3 RCOs είχε τιμή μεγαλύτερη του 0,05 (0,309 για τα RCO1, RCO2 και 0,199 για το RCO3) που είναι και το όριο που αποδεικνύει ότι τα δεδομένα ακολουθούν κατανομή, που προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό την κανονική.



Σχήμα 4-10: ANDERSON-DARLING τεστ για έλεγχο κανονικότητας των RCO_1 και RCO_2



Σχήμα 4-11: ANDERSON-DARLING τεστ για έλεγχο κανονικότητας του RCO_3

Με βάση τις **μέσες τιμές** και **τυπικές αποκλίσεις** που προκύπτουν από τις μετασχηματισμένες τιμές, ακολουθούμε την μεθοδολογία της ανάλυσης χαρτοφυλακίου.

Με την αναλυτική ιεραρχική διαδικασία (AHP) και ακολουθώντας την ίδια διαδικασία των κατά ζεύγη συγκρίσεων που χρησιμοποιήθηκε στην περίπτωση που οι αποδόσεις ακολουθούσαν κανονική κατανομή, καταλήγουμε στις προτεραιότητες (βάρη) των επιμέρους RCO ως προς τα κριτήρια : $\frac{\Delta C}{\Delta R}$, $\frac{(\Delta C - \Delta B)}{\Delta R}$, $\frac{\Delta B}{\Delta C}$. Συγκεντρωτικά τα βάρη των κριτηρίων φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί :

Πίνακας 4-19: Συγκεντρωτικά Βάρη για τα επιλεγμένα κριτήρια.

	$\Delta C/\Delta R$	$(\Delta C-\Delta B)/DR$	$(\Delta C-\Delta B)/DR$
RCO1	0,4683	0,6484	0,5307
RCO2	0,4683	0,3409	0,3232
RCO3	0,0633	0,0106	0,1461

Για να καταλήξουμε στα πιο αποδοτικά χαρτοφυλάκια χρησιμοποιούμε την ίδια κατανομή συνετελεστών βαρύτητας για τα επιμέρους κριτήρια σε κάθε χαρτοφυλάκιο που χρησιμοποιήσαμε και στην περίπτωση της κανονικής κατανομής (Πίνακας 4-12). Οπότε με πολλαπλασιασμό του πίνακα αυτού με τον Πίνακα 4-19, προκύπτει τελικά πως κατανέμονται τα βάρη των RCO ως προς τα υπό εξέταση χαρτοφυλάκια:

Πίνακας 4-20: Βάρη των RCO για τα χαρτοφυλάκια

	RCO1	RCO2	RCO3
A	49,26	44,11	6,63
B	60,06	36,46	3,47
Γ	54,73	37,21	8,06
Δ	52,86	41,56	5,58
E	56,19	38,20	5,62
Z	52,62	39,21	8,18
H	55,36	35,75	8,89
Θ	58,33	34,66	7,01

Οπότε τελικά για τις μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των χαρτοφυλακίων που αποτελούνται από RCOs με απόδοση ΔR (της μείωσης θανάτων) έχουμε

Πίνακας 4-21: Απόδοση των χαρτοφυλακίων RCOs

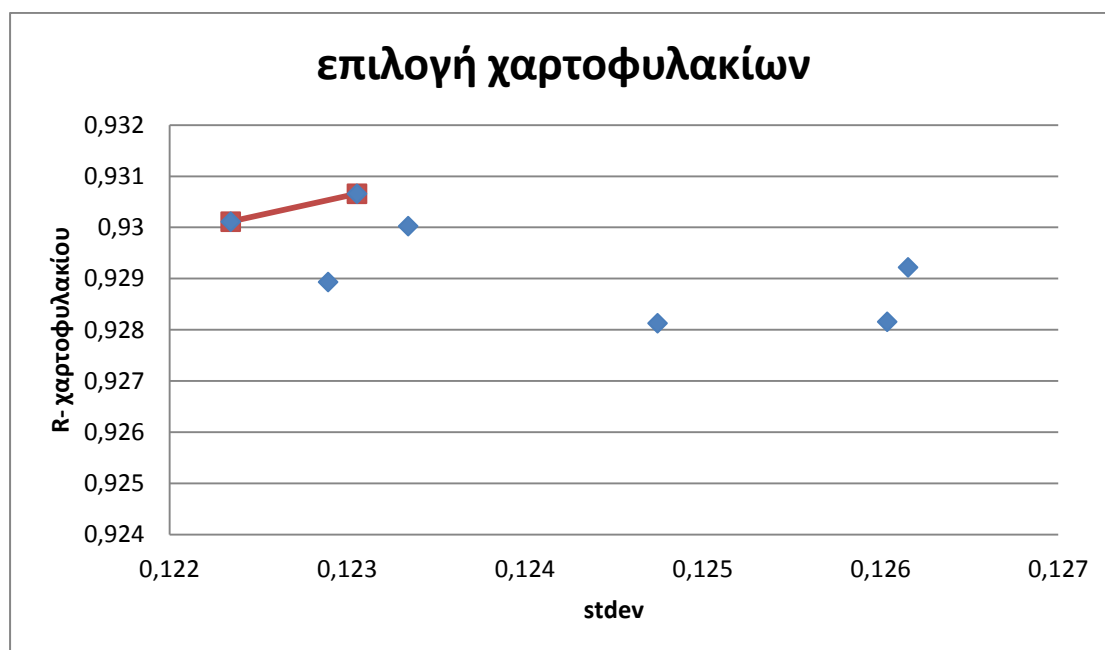
Χαρτοφυλάκια		Βάρη (W)	R (RCOs)	R (χαρτοφυλακίου)
		%	N που αποτράπηκαν	N που αποτράπηκαν
A	RCO ₁	49,26	0,9239	0,929
	RCO ₂	44,11	0,9239	
	RCO ₃	6,63	1,0003	
B	RCO ₁	60,06	0,9239	0,927
	RCO ₂	36,46	0,9239	
	RCO ₃	3,47	1,0003	
Γ	RCO ₁	54,73	0,9239	0,930
	RCO ₂	37,21	0,9239	
	RCO ₃	8,06	1,0003	
Δ	RCO ₁	52,86	0,9239	0,928
	RCO ₂	41,56	0,9239	
	RCO ₃	5,58	1,0003	
E	RCO ₁	56,19	0,9239	0,928
	RCO ₂	38,20	0,9239	
	RCO ₃	5,62	1,0003	
Z	RCO ₁	52,62	0,9239	0,930
	RCO ₂	39,21	0,9239	
	RCO ₃	8,18	1,0003	
H	RCO ₁	55,36	0,9239	0,931
	RCO ₂	35,75	0,9239	
	RCO ₃	8,89	1,0003	
Θ	RCO ₁	58,33	0,9239	0,929
	RCO ₂	34,66	0,9239	
	RCO ₃	7,01	1,0003	

και για την τυπική απόκλιση :

Πίνακας 4-22: Τυπική απόκλιση των χαρτοφυλακίων RCOs

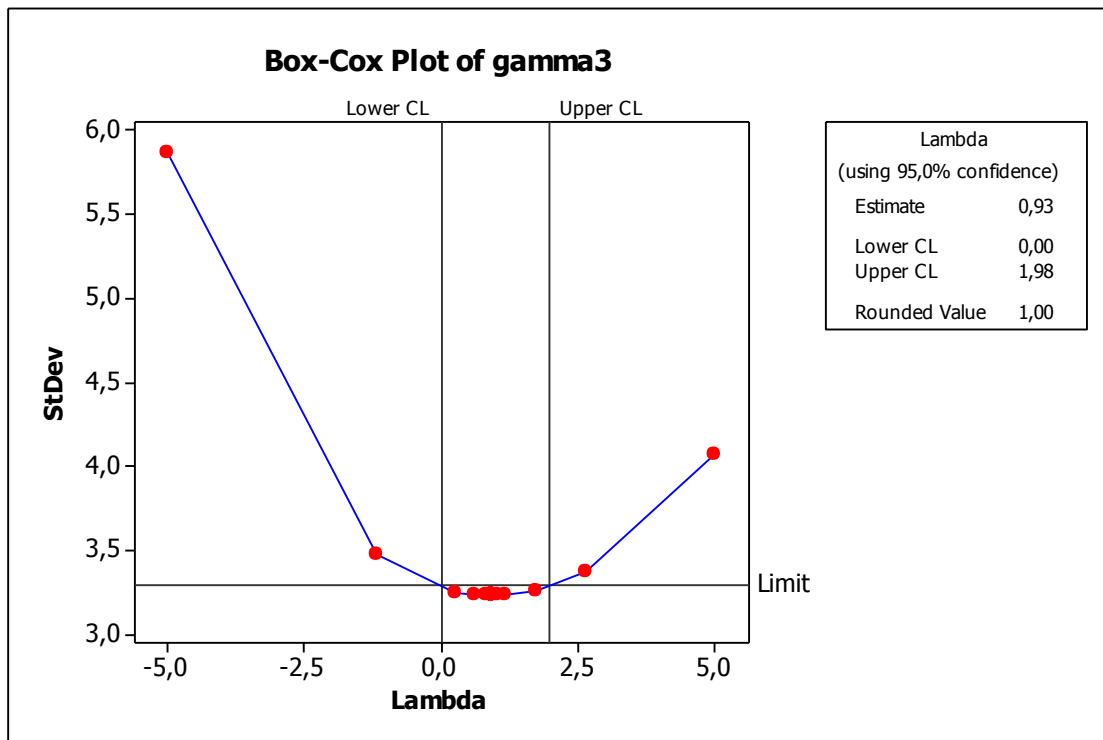
Χαρτοφυλάκια		Βάρη (W)	stand.deviation	stand.deviation
		%	(RCOs)	χαρτοφυλακίων
Α	RCO ₁	49,26	0,185	0,123
	RCO ₂	44,11	0,185	
	RCO ₃	6,63	0,200	
Β	RCO ₁	60,06	0,185	0,130
	RCO ₂	36,46	0,185	
	RCO ₃	3,47	0,200	
Γ	RCO ₁	54,73	0,185	0,123
	RCO ₂	37,21	0,185	
	RCO ₃	8,06	0,200	
Δ	RCO ₁	52,86	0,185	0,125
	RCO ₂	41,56	0,185	
	RCO ₃	5,58	0,200	
Ε	RCO ₁	56,19	0,185	0,126
	RCO ₂	38,20	0,185	
	RCO ₃	5,62	0,200	
Ζ	RCO ₁	52,62	0,185	0,122
	RCO ₂	39,21	0,185	
	RCO ₃	8,18	0,200	
Η	RCO ₁	55,36	0,185	0,123
	RCO ₂	35,75	0,185	
	RCO ₃	8,89	0,200	
Θ	RCO ₁	58,33	0,185	0,126
	RCO ₂	34,66	0,185	
	RCO ₃	7,01	0,200	

οπότε τελικά τα αποδοτικά χαρτοφυλάκια είναι αυτά που βρίσκονται πάνω στην κόκκινη γραμμή στο Σχήμα 4-12.

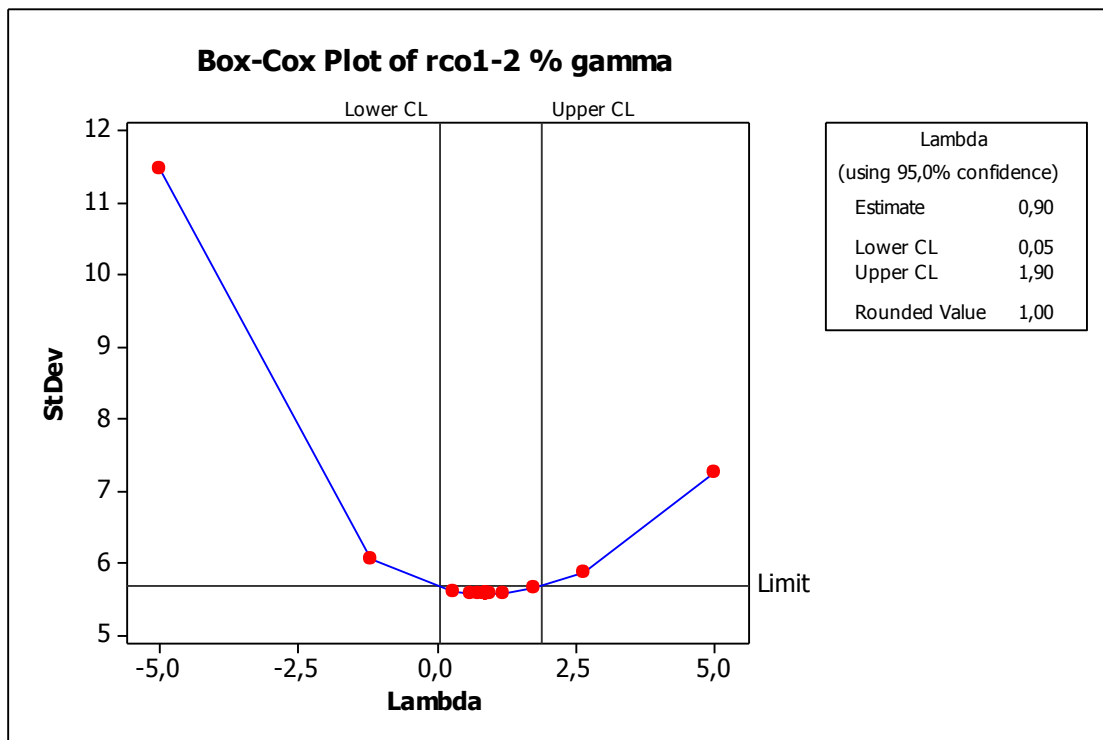


Σχήμα 4-12: Αποδοτικά Χαρτοφυλάκια RCOs

2B) Αντίστοιχα ακολουθούμε την ίδια διαδικασία για τα RCOs, όπου ως απόδοση ΔR ορίζεται ως η % μείωση του αριθμού των θανάτων. Πραγματοποιούμε τον μετασχηματισμό της κατανομής Γάμμα των τυχαίων τιμών σε κανονική, επιλέγοντας για παράμετρο της BOX-COX μεθοδολογίας τις τιμές $\lambda=0,93$ για τα **RCO1**, **RCO2** και $\lambda=0,90$ για το **RCO3** αντίστοιχα.

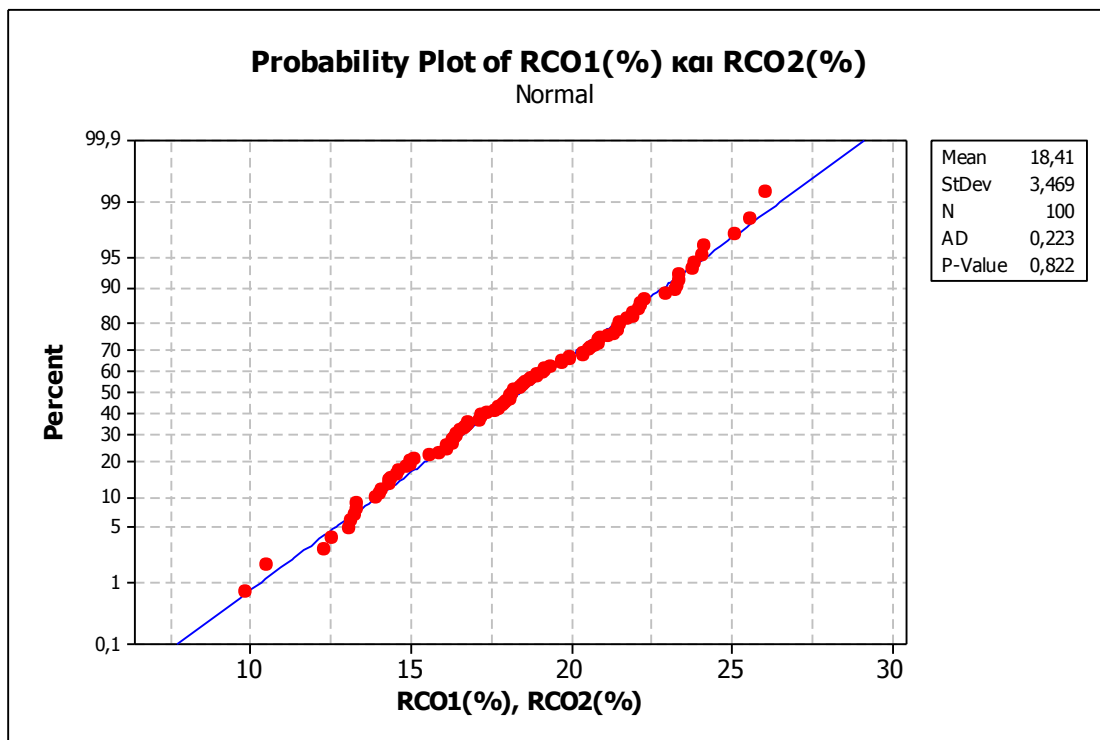


Σχήμα 4-13: Επιλογή της παραμέτρου λ για το RCO₃



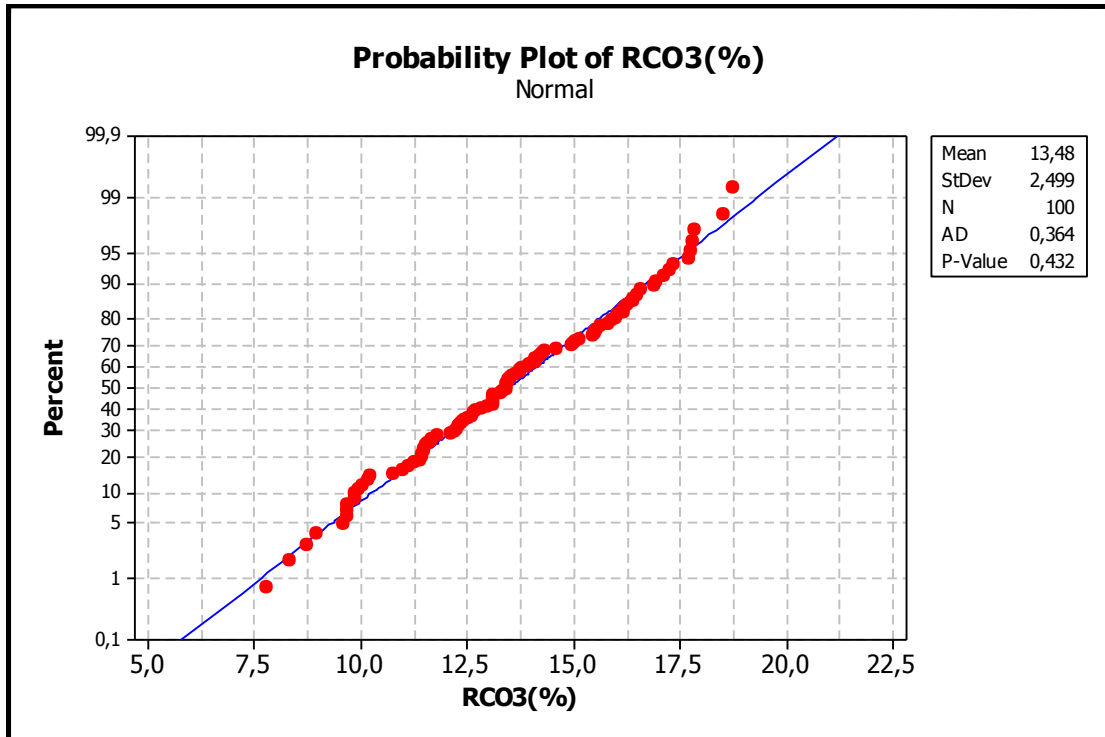
Σχήμα 4-14: Επιλογή της παραμέτρου λ για τα RCO₁ και RCO₂

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση έτσι και σε αυτή με τη βοήθεια του λογισμικού MINITAB εφαρμόσαμε το Anderson-Darling τεστ κανονικότητας, προκύπτοντας ότι ο δείκτης **p-value** και για τα 3 RCOs είχε τιμή μεγαλύτερη του 0,05 (0,93 για τα RCO₁, RCO₂ και 0,90 για το RCO₃).

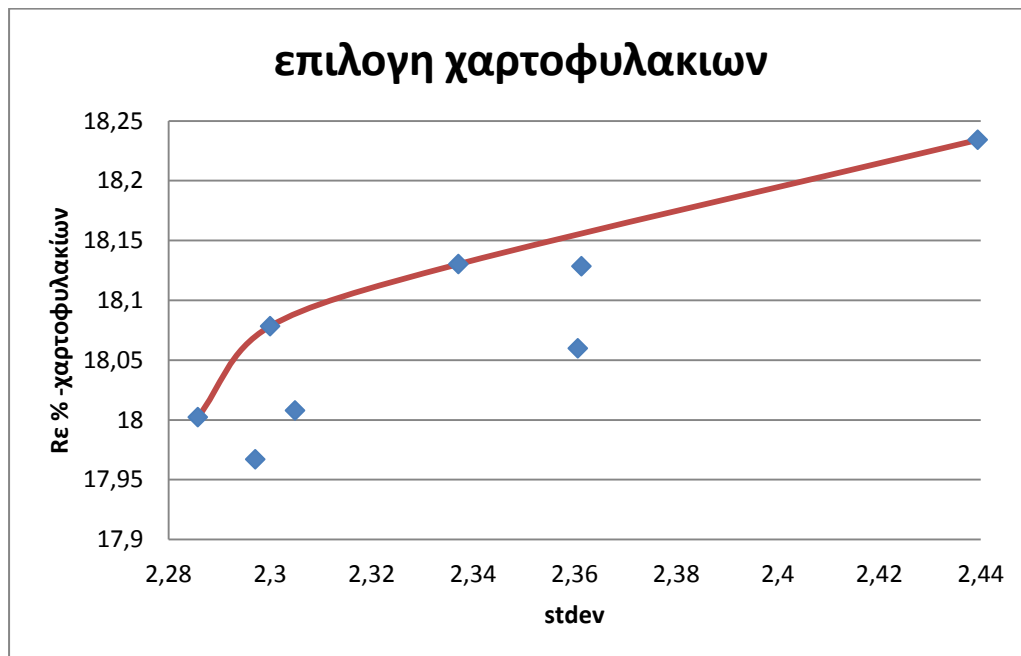


Σχήμα 4-15: ANDERSON-DARLING τεστ για έλεγχο κανονικότητας των RCO₁ και RCO₂

Οπότε ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με τις προηγούμενες περιπτώσεις, καταλήγουμε ότι τα αποδοτικά χαρτοφυλάκια είναι αυτά που βρίσκονται πάνω στην κόκκινη γραμμή στο Σχήμα 4-17.



Σχήμα 4-16: ANDERSON-DARLING τεστ για έλεγχο κανονικότητας του RCO₃



Σχήμα 4-17: Αποδοτικά Χαρτοφυλάκια RCO

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ RCO ΜΕ ΒΑΣΗ
ΤΗΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥΣ

5 . Μέθοδοι αλληλεπίδρασης των RCO με βάση την αποτελεσματικότητάς τους

5.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος υπολογισμού της αλληλεπίδρασης των RCOs και τελικά της μείωσης του ρίσκου (ΔR) είτε με την μορφή θανάσιμων περιστατικών που αποφεύχθηκαν, ή με τη μορφή διαρροής ποσότητας πετρελαίου, που περιγράφεται στην ενότητα αυτή, αναπτύχθηκε από τον Νορβηγό O.Balland στα πλαίσια της διδακτορικής του διατριβής με τίτλο "Optimization models for reducing air emissions from ships" και πιο αναλυτικά στα (Balland et al., 2012), (Balland et al., 2013).

Στην εργασία του εισάγει το πρόβλημα της επιλογής των μέτρων ελέγχου των εκπομπών αέρα (air emissions controls A.E.C.) και έχει σαν στόχο τη μείωση της ρύπανσης που οφείλεται σε ένα πλοίο. Ουσιαστικά μέσω της δημιουργίας ενός μοντέλου βελτιστοποίησης, καταλήγει στην κατάλληλη επιλογή των AECs που ελαχιστοποιούν το κόστος για την επίτευξη μιας συγκεκριμένης ποσότητας εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), οξειδίων του αζώτου (NO_x) και του θείου (SO_x).

Το μοντέλο αυτό λαμβάνει υπόψη τις αλληλεπιδράσεις που υπάρχουν μεταξύ των διαφόρων AECs σε ό,τι αφορά τη μείωση των εκπομπών. Δύο ή περισσότερα μέτρα ελέγχου των εκπομπών, θεωρούμε ότι αλληλεπιδρούν όταν σχετίζονται με:

- α)** Τον ίδιο τύπο πλοίου (πχ. τάνκερ, κοντέινερ κ.τ.λ.),
- β)** Τον ίδιο τύπο αερίων εκπομπών (πχ. CO_2 , NO_x),
- γ)** Το ίδιο υπο-σύστημα του σκάφους.

Ένα παράδειγμα που επιτρέπει να γίνει κατανοητή η προϋπόθεση γ, είναι η εφαρμογή των μέτρων:

- **Direct Water Injection (D.W.I)**, που αφορά άμεσο ψεκασμό νερού και
- **H.A.M.**, δηλαδή κινητήρα υγρού αέρα

όπου και τα δύο μειώνουν την θερμοκρασία στο θάλαμο καύσης με την προσθήκη νερού. Αυτό που προκύπτει είναι ότι η συνολική μείωση των εκπομπών με την προσθήκη ενός από αυτά τα δύο μέτρα, όταν το άλλο είναι ήδη εγκαταστημένο, είναι μικρότερη από το άθροισμα των επιμέρους μειώσεων που προκαλεί το κάθε μέτρο ξεχωριστά.

5.2 Περιγραφή των δύο μεθοδολογιών υπολογισμού της αλληλεπίδρασης

Στην περίπτωση της πρώτης μεθοδολογίας, οι μειώσεις των εκπομπών των μέτρων, εκφράζονται ως ποσοστό σε σχέση με τις εκπομπές του πλοίου πριν από την εφαρμογή των μέτρων. Οπότε και η συνολική μείωση των εκπομπών κατά την εγκατάσταση περισσότερων του ενός AEC, εξαρτάται από τα AEC που έχουν ήδη εγκατασταθεί, δηλαδή της μείωσης που αυτά έχουν επιφέρει. Αυτό εκφράζεται μαθηματικά με την εξής σχέση:

$$R_i = R_{i-1} \times \left(1 - \frac{\mu_i}{100}\right) + \mu_i \quad (1)$$

$$R_0 = 0$$

Όπου:

- $i=1,2,\dots,n$
- R_i η συνολική % μείωση με την εφαρμογή του i μέτρου ενώ το $i-1,2,3,\dots,n$ έχουν ήδη εγκατασταθεί, και
- μ_i η % μείωση των εκπομπών από την αυτοτελή εφαρμογή του μέτρου i

Όμως στο βαθμό που δεν γνωρίζουμε εξαρχής ποια μέτρα και με ποια σειρά πρόκειται να εφαρμοστούν, απαιτείται να προσδιοριστούν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί, πράγμα που στην περίπτωση πολλών AECs δίνει ένα πολύ μεγάλο αριθμό συνδυασμών. Για να αποφευχθεί αυτό πραγματοποιούμε τις παρακάτω τροποποιήσεις.

Για τον υπολογισμό της συνολικής μείωσης που επιτυγχάνεται από την χρήση 2 ή περισσότερων AECs προτείνεται η αλληλεπίδραση του συνδυασμού RCO ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των επιμέρους μέτρων μείον την παράμετρο P_i που περιγράφει το ποσοστό που δεν σχετίζεται με την αλληλεπίδραση. Η παράμετρος P_i με τη σειρά της εκφράζει την ανεξάρτητη αλληλεπίδραση ενός RCO με αυτά που έχουν ήδη εγκατασταθεί προστιθέμενη με το αλγεβρικό άθροισμα όσων έχουν ήδη εγκατασταθεί. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται από την εξίσωση (2)

$$R_i = SUM_i - P_i \quad (2)$$

με
$$P_i = \frac{SUM_{i-1} \times \mu_i}{100} + SUM_{i-1}$$

όπου:

- $i=1,2,\dots,n$,
- R_i η συνολική μείωση με την εφαρμογή του i μέτρου ενώ το $i-1, i-2, i-3,\dots,i-n$ έχουν ήδη εγκατασταθεί ,
- SUM_i το αλγεβρικό % άθροισμα των AECs i που εφαρμόζονται και
- μ_i η % μείωση των εκπομπών από την αυτοτελή εφαρμογή του μέτρου i

Με τη χρήση του παρακάτω παραδείγματος τα 2 αυτά μοντέλα γίνονται καλύτερα κατανοητά. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται τα AECs που χρησιμοποιήθηκαν και το ποσοστό της μείωσης που το καθένα επιφέρει στην εκπομπή αέριων ρύπων, όταν εφαρμόζεται ξεχωριστά.

Πίνακας 5-1: Τα μέτρα μείωσης των εκπομπών που χρησιμοποιήθηκαν

	Air emission controls (AECs)	Emission Reduction (%)
1	Χρήση ελαφριών κατασκευών (πχ. τμήματα από αλουμίνου)	7
2	Καθαρισμός της γάστρας	3
3	Συντήρηση μηχανής	5
4	Βελτιστοποίηση της διαγωγής	5
5	Καθαρισμός προπέλας	10
6	Χρήση ιστίων	20

Στη συνέχεια ακολουθεί ο αναλυτικός αριθμητικός υπολογισμός της συνολικής μείωσης της εκπομπής αέριων ρύπων με την χρήση των 2 μεθοδολογιών

Για τη μεθοδολογία 1:

- με την εφαρμογή μόνο του RCO_1 η μείωση θα είναι $R_1=7\%$

- με την εφαρμογή του RCO_1 και του RCO_2 θα είναι :

$$R_2=7 \left(1 - \frac{3}{100}\right) + 3 = 9,79\%$$

- με την εφαρμογή των RCO_1 , RCO_2 και RCO_3 θα είναι:

$$R_3= 9,79 \left(1 - \frac{5}{100}\right) + 5 = 14,3\%$$

- με την εφαρμογή των RCO_1 , RCO_2 , RCO_3 και RCO_4 θα είναι:

$$R_4= 14,3 \left(1 - \frac{5}{100}\right) + 5 = 18,59\%$$

- με την εφαρμογή των RCO_1 , RCO_2 , RCO_3 , RCO_4 και RCO_5 θα είναι:

$$R_5= 18,59 \left(1 - \frac{10}{100}\right) + 10 = 26,73\%$$

- με την εφαρμογή των RCO_1 , RCO_2 , RCO_3 , RCO_4 , RCO_5 , RCO_6 θα είναι:

$$R_6= 26,73 \left(1 - \frac{20}{100}\right) + 20 = 41,38\%$$

Για τη μεθοδολογία 2:

- με την εφαρμογή μόνο του RCO_1 η μείωση θα είναι $R_1= 7\%$

- με την εφαρμογή του RCO_1 και του RCO_2 θα είναι :

$$R_2=10 - \frac{7 \times 3}{100} = 9,79\%$$

- με την εφαρμογή των RCO_1 , RCO_2 και RCO_3 θα είναι:

$$R_3= 15 - \left(0,21 + \frac{10 \times 5}{100}\right) = 14,29\%$$

- με την εφαρμογή των RCO_1 , RCO_2 , RCO_3 και RCO_4 θα είναι:

$$R_4= 20 - \left(0,71 + \frac{15 \times 5}{100}\right) = 18,54\%$$

- με την εφαρμογή των RCO_1 , RCO_2 , RCO_3 , RCO_4 και RCO_5 θα είναι:

$$R_5 = 30 - \left(1,46 + \frac{20 \times 10}{100} \right) = 26,54 \%$$

- με την εφαρμογή των RCO_1 , RCO_2 , RCO_3 , RCO_4 , RCO_5 , RCO_6 θα είναι:

$$R_6 = 50 - \left(3,46 + \frac{30 \times 20}{100} \right) = 40,54 \%$$

Πίνακας 5-2: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τις μεθόδους (1) και (2)

Air emission controls (AECs) που χρησιμοποιήθηκαν	Άθροισμα μείωσης (AECs)	μεθοδολογία (1)	μεθοδολογία (2)
1+2	10,00 %	9,79 %	9,79 %
1+2+3	15,00 %	14,30 %	14,29 %
1+2+3+4	20,00 %	18,59 %	18,54 %
1+2+3+4+5	30,00 %	26,73 %	26,54 %
1+2+3+4+5+6	50,00 %	41,38 %	40,54 %

Στον Πίνακα που ακολουθεί, φαίνονται οι διαφορές που προκύπτουν από μια απλή άθροιση των μειώσεων του ρίσκου που οφείλεται στα AECs και των 2 μεθόδων που λαμβάνουν υπόψη και την αλληλεπίδραση. Η εξίσωση (2) μάλιστα, οδηγεί σε αποτελέσματα πιο συντηρητικά όσον αφορά στην ενδεχόμενη μείωση σε σχέση με την μεθοδολογία 1, πράγμα που οδηγεί σε μεγαλύτερη πιθανότητα να επιτευχθεί στην πραγματικότητα η προσδοκώμενη μείωση.

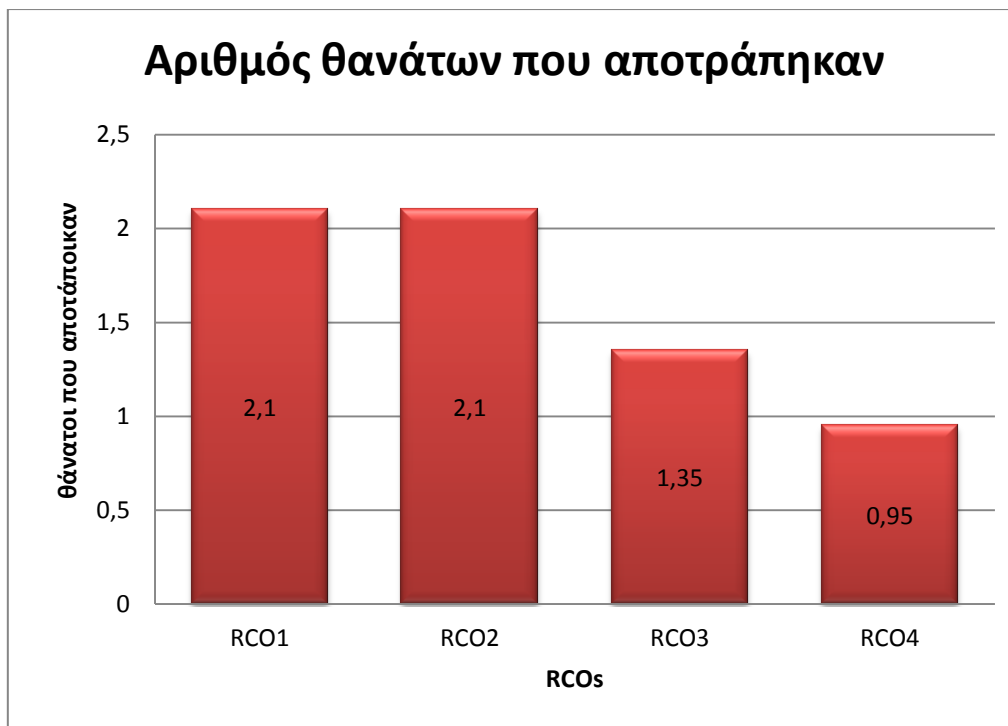
Πίνακας 5-3: Σύγκριση των αποτελεσμάτων για τις μεθόδους (1) και (2)

Air emission controls (AECs) που χρησιμοποιήθηκαν	Διαφορά	
	Άθροισμα - Μεθοδ.(1)	Μεθοδ.(1) - Μεθοδ.(2)
1+2	0,21 %	0,00 %
1+2+3	0,70 %	0,01 %
1+2+3+4	1,41 %	0,05 %
1+2+3+4+5	3,27 %	0,19 %
1+2+3+4+5+6	8,62 %	0,84 %

5.3 Αριθμητικοί υπολογισμοί για Cruise Ships (κρουαζιερόπλοια)

Ουσιαστικά αυτό που επιχειρούμε να κάνουμε είναι να εφαρμόσουμε τις παραπάνω δύο μεθοδολογίες που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής του O.Balland, θεωρώντας ότι αντί για μέτρα μείωσης των αερίων ρύπων (AECs), αναφερόμαστε σε μέτρα που συντελούν στο να μειωθεί ο κίνδυνος να προκληθούν θανάσιμα ατυχήματα (RCOs). Στόχος είναι ο αριθμητικός υπολογισμός της συνολικής μείωσης που θα επέλθει στους αναμενόμενος θανάτους στην περίπτωση των cruise ships, μετά την χρήση 2 ή περισσότερων RCOs.

Η μείωση του κινδύνου που επιφέρουν το καθένα RCO ξεχωριστά, στα πλαίσια της FSA για κρουαζιερόπλοια, μετρούμενη σε ανθρώπινες ζωές υπολογίζεται με τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο με τα event trees. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα RCOs που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και η μείωση του αριθμού θανάτων που επιτυγχάνουν.

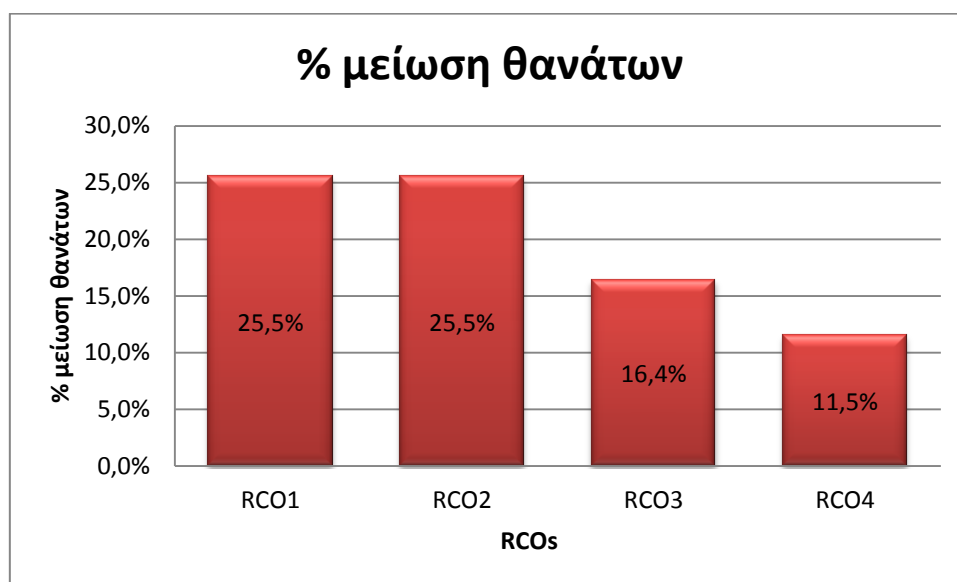


Σχήμα 5-1: Αριθμός των θανάτων που αποτράπηκαν

Αν θεωρήσουμε πάλι με τη χρήση του δενδρογράμματος για την κατηγορία του ατυχήματος της σύγκρουση (collision event tree) (IMO, 2008), ο αναμενόμενος αριθμός θανάτων για όλο τον κύκλο ζωής ενός cruise ship (30 χρόνια) προκύπτει

8,235 θάνατοι. Οπότε η ποσοστιαία (%) μείωση θανάτων από ατυχήματα που επιφέρει το καθένα RCO ξεχωριστά, προκύπτει από τη σχέση

$$DR = \frac{\text{αριθμός θανάτων που αποτράπηκαν λόγω του RCO}_i}{\text{αναμενόμενος αριθμός θανάτων για όλο τον κύκλο ζωής ενός cruise ship}} = \frac{\text{αριθμός θανάτων που αποτράπηκαν λόγω του RCO}_i}{8.235}$$



Σχήμα 5-2: ποσοστιαία μείωση των θανάτων

Στη συνέχεια ακολουθεί ο αναλυτικός αριθμητικός υπολογισμός και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή των δύο μεθοδολογιών .

Για τη μεθοδολογία 1:

- με την εφαρμογή μόνο του RCO₁ η μείωση θα είναι R₁= 25,5%

- με την εφαρμογή του RCO₁ και του RCO₂ θα είναι :

$$R_2 = 25,5 \left(1 - \frac{25,5}{100} \right) + 25,5 = 44,5 \%$$

- με την εφαρμογή των RCO₁ , RCO₂ και RCO₃ θα είναι:

$$R_3 = 44,5 \left(1 - \frac{16,39}{100} \right) + 16,39 = 53,6 \%$$

- με την εφαρμογή των RCO₁ , RCO₂, RCO₃ και RCO₄ θα είναι:

$$R_4 = 53,6 \left(1 - \frac{11,5}{100} \right) + 11,5 = 58,94 \%$$

Για τη μεθοδολογία 2:

- με την εφαρμογή μόνο του RCO₁ η μείωση θα είναι R₁= 25,5%
- με την εφαρμογή του RCO₁ και του RCO₂ θα είναι :

$$R_2 = 51 - \frac{25,5 \times 25,5}{100} = 44,5 \%$$

- με την εφαρμογή των RCO₁ , RCO₂ και RCO₃ θα είναι:

$$R_3 = 67,39 - \left(6,5 + \frac{51 \times 16,39}{100} \right) = 52,53 \%$$

- με την εφαρμογή των RCO₁ , RCO₂, RCO₃ και RCO₄ θα είναι:

$$R_4 = 78,93 - \left(14,86 + \frac{67,39 \times 11,54}{100} \right) = 56,29 \%$$

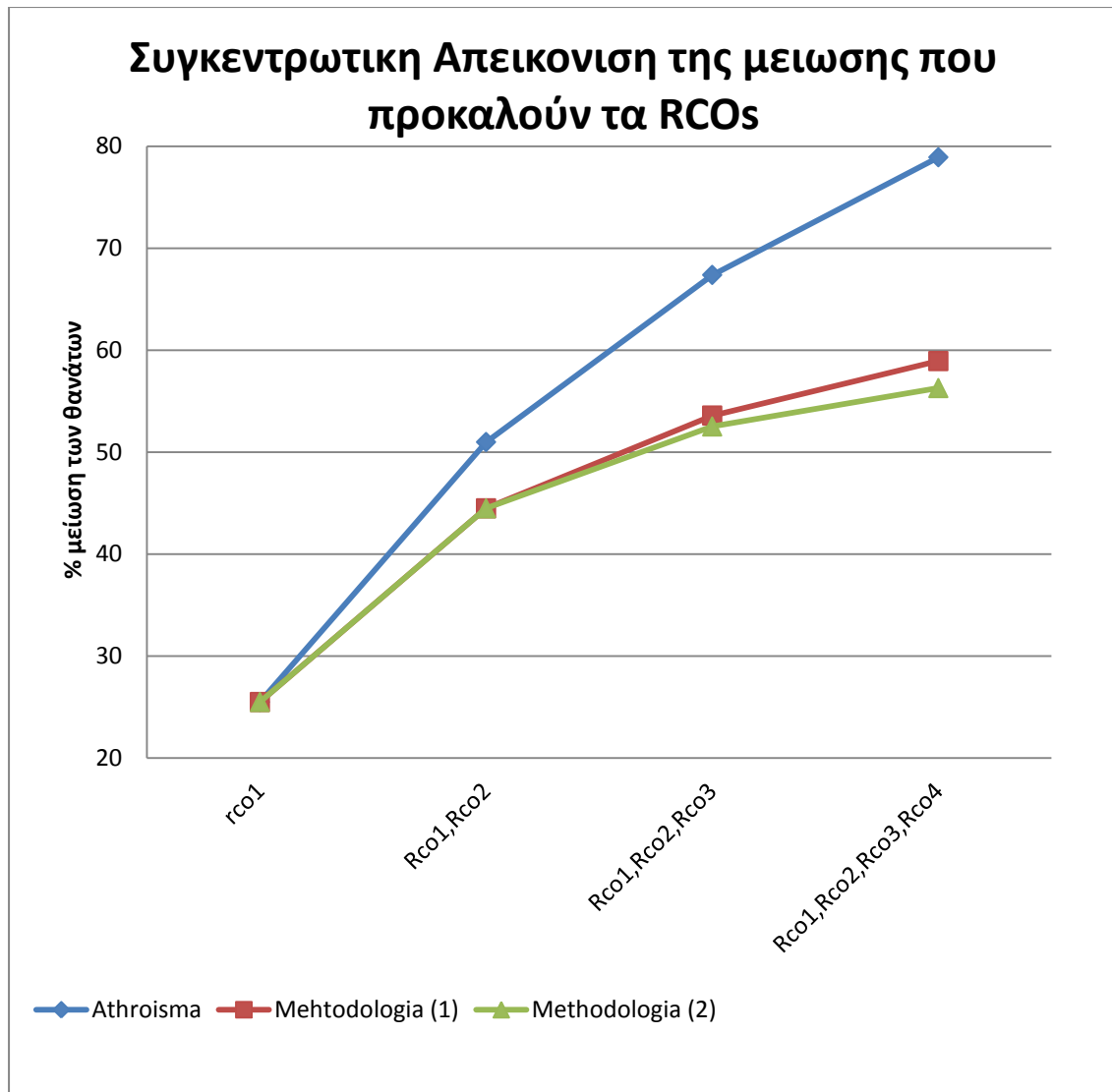
και συγκριτικά:

Πίνακας 5-4: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τις μεθόδους (1) και (2)

<i>Risk Control Options (RCOs) που χρησιμοποιήθηκαν</i>	<i>Άθροισμα μείωσης (AECs)</i>	<i>μεθοδολογία (1)</i>	<i>μεθοδολογία (2)</i>
RCO ₁	25,5 %	25,5 %	25,5 %
RCO ₁ +RCO ₂	51 %	44,5 %	44,5 %
RCO ₁ +RCO ₂ +RCO ₃	67,39 %	53,6 %	52,53%
RCO ₁ +RCO ₂ +RCO ₃ +RCO ₄	78,93 %	58,94 %	56,29 %

Πίνακας 5-5: Σύγκριση των αποτελεσμάτων για τις μεθόδους (1) και (2)

<i>Risk Control Options (RCOs) που χρησιμοποιήθηκαν</i>	<i>Διαφορά</i>		
	<i>Μεθοδ.(1) - Μεθοδ.(2)</i>	<i>Άθροισμα - Μεθοδ.(1)</i>	<i>Άθροισμα - Μεθοδ.(2)</i>
rco1	0,00 %	0,00 %	0,00 %
rco1, rco2	0,00 %	6,50 %	6,50 %
rco1, rco2, rco3	1,07 %	13,80 %	14,86 %
rco1, rco2, rco3, rco4	2,66 %	19,98 %	22,64 %



Σχήμα 5-3: Σύγκριση των αποτελεσμάτων για τις μεθόδους (1) και (2)

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι η απόκλιση της μεθόδου (1) που προκύπτει σε σχέση με το απλό άθροισμα της μείωσης των θανάτων, είναι της τάξεως 19,98% στην περίπτωση της εφαρμογής 4 RCOs. Αυτό είναι απολύτως λογικό, στο βαθμό που η μέθοδος (1) λαμβάνει υπόψη της την αλληλεπίδραση που προκύπτει από την διαδοχική εγκατάσταση των RCOs και πιο συγκεκριμένα την μείωση που έχει ήδη επιτευχθεί από τα προηγούμενα RCO. Αντίστοιχα η απόκλιση που παρατηρείται μεταξύ των μεθοδολογιών (1) και (2) στην περίπτωση 4 RCOs είναι 2,66%. Οπότε όταν χρησιμοποιούμε συχνά τους ίδιους συνδυασμούς RCOs αυτά μπορούν να θεωρούνται πια σαν ένα RCO με συγκεκριμένο ποσοστό μείωσης των θανάτων και με τη σειρά του το νέο μέτρο να χρησιμοποιείται σε συνδυασμούς, διευκολύνοντας έτσι τους υπολογισμούς της μείωσης της πιθανότητας ατυχημάτων και του αριθμού των θανάτων. Επιπλέον, τα πιο συντηρητικά αποτελέσματα που

προκύπτουν από τη δεύτερη μεθοδολογία οδηγούν σε πιο ασφαλείς εκτιμήσεις, όσον αφορά την τελική μείωση που θα επιτευχθεί.

Επιπλέον αξίζει να σημειωθεί ότι ανεξαρτήτως από τη σειρά που εφαρμόζονται 2 ή περισσότερα συγκεκριμένα RCOs καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η τελική % μείωση των θανάτων είναι σε κάθε περίπτωση η ίδια. Αυτό μπορεί εύκολα να αποδειχτεί αν εφαρμόσουμε τις μεθοδολογίες (1) και (2) για τα 4 RCOs όπως και προηγουμένως με διαφορετική όμως σειρά, δηλαδή αντί για τον συνδυασμό RCO₁-RCO₂-RCO₃-RCO₄ θα ακολουθήσουμε την εναλλακτική RCO₃-RCO₁-RCO₄-RCO₂, οπότε πιο συγκεκριμένα :

Για τη μεθοδολογία (1)

- με την εφαρμογή μόνο του RCO₃ η μείωση θα είναι $R_1' = 16,4\%$

- με την εφαρμογή του RCO₃ και του RCO₁ θα είναι :

$$R_2' = 16,4 \left(1 - \frac{25,5}{100}\right) + 25,5 = 37,72 \%$$

- με την εφαρμογή των RCO₃ , RCO₁ και RCO₄ θα είναι:

$$R_3' = 37,72 \left(1 - \frac{11,5}{100}\right) + 11,5 = 44,88 \%$$

- με την εφαρμογή των RCO₃ , RCO₁, RCO₄ και RCO₂ θα είναι:

$$R_4' = 44,88 \left(1 - \frac{25,5}{100}\right) + 25,5 = 58,94 \%$$

ενώ για τη μεθοδολογία (2)

- με την εφαρμογή μόνο του RCO₃ η μείωση θα είναι $R_1' = 16,4\%$

- με την εφαρμογή του RCO₃ και του RCO₁ θα είναι :

$$R_2' = 41,9 - \frac{16,4 \times 25,5}{100} = 37,72 \%$$

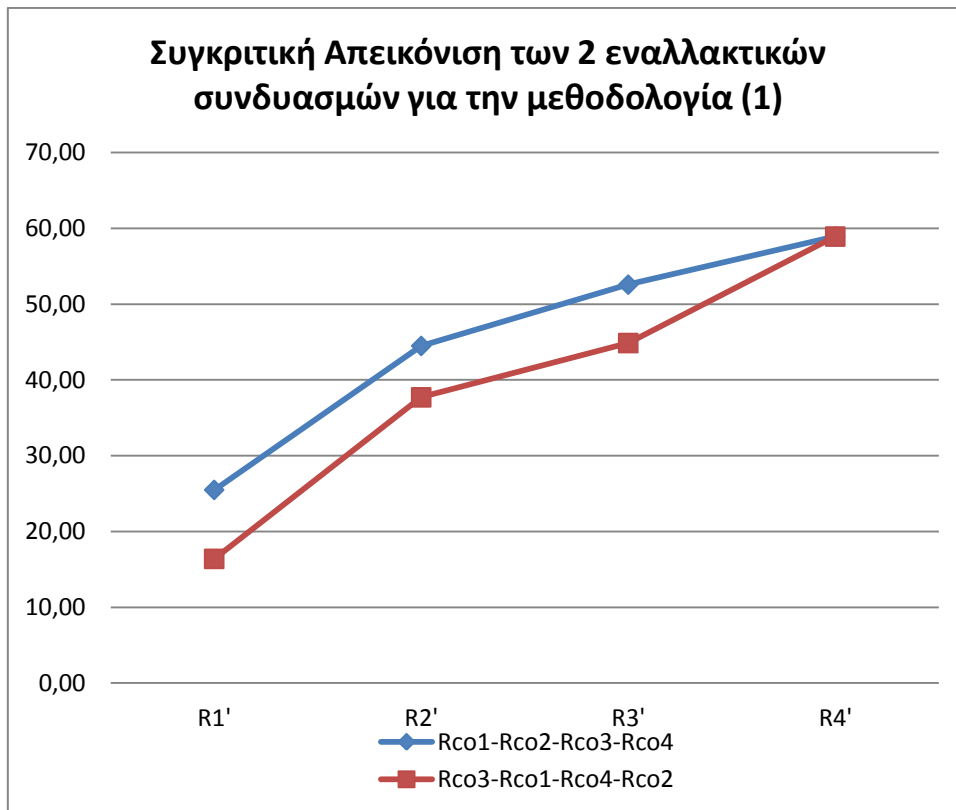
- με την εφαρμογή των RCO₁ , RCO₂ και RCO₃ θα είναι:

$$R_3' = 53,4 - \left(4,18 + \frac{41,9 \times 11,5}{100}\right) = 44,4 \%$$

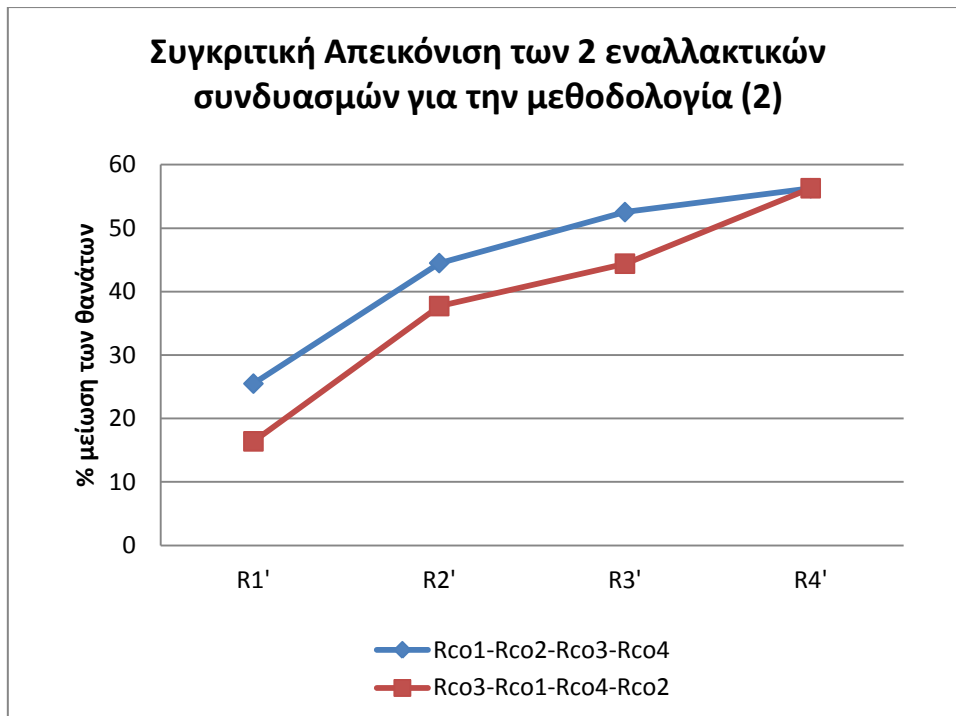
- με την εφαρμογή των RCO₁ , RCO₂, RCO₃ και RCO₄ θα είναι:

$$R_4' = 78,9 - \left(9 + \frac{53,4 \times 25,5}{100}\right) = 56,29 \%$$

Διαγραμματικά φαίνονται οι συγκρίσεις των 2 εναλλακτικών συνδυασμών RCOs που εξετάσαμε για τις μεθοδολογίες (1) και (2).



Σχήμα 5-4: Σύγκριση των αποτελεσμάτων των εναλλακτικών συνδυασμών για τη μεθοδολογία (1)



Σχήμα 5-5: Σύγκριση των αποτελεσμάτων των εναλλακτικών συνδυασμών για τη μεθοδολογία (2)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο:

ΣΥΖΕΥΞΕΙΣ (COPULAS)

6 . Συζεύξεις (COPULAS)

6.1 Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή γίνεται μια εκτενής αναφορά στην έννοια των Συζεύξεων (Copulas), οι οποίες συνδέουν τις μονοδιάστατες περιθώριες κατανομές με την αντίστοιχη διδιάστατη συνάρτηση κατανομής (Γκιούλος, 2012). Οι συζεύξεις αφορούν επι της ουσίας μια απλή μεθοδολογία μοντελοποίησης της εξάρτησης μεταξύ τυχαίων μεταβλητών. Αν και ήδη από τις αρχές του 20ου αιώνα, οι επιστήμονες προσπάθησαν να εντοπίσουν κατανομές που θα περιέγραφαν μη κανονικά σχετιζόμενα φαινόμενα, μόλις τις τελευταίες δεκαετίες η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών επέτρεψε κάτι τέτοιο να πραγματοποιηθεί, λόγω της υπέρβασης προβλημάτων αριθμητικών υπολογισμών.

Λόγω της απλότητας και της ευελιξίας τους, βρίσκουν εφαρμογές σε ένα πολύ ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων, από τον υπολογισμό της τιμής χρηματοπιστωτικών προϊόντων, μέχρι τη δημιουργία μοντέλων για την πρόβλεψη των οικονομικών επιπτώσεων φυσικών καταστροφών (Li , 2013.).

6.2 Βασικές Έννοιες

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω οι συζεύξεις μπορούν να θεωρηθούν ως πολυδιάστατες συναρτήσεις κατανομών που συνδέουν μονοδιάστατες κατανομές. Ακολουθεί ο ορισμός των copulas.

Ορισμός των Copulas (Nelson 2006)

Σύζευξη καλείται μια απεικόνιση $C(u, v)$, $C : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ έτσι ώστε

i) Για κάθε $u, v \in [0,1]$

$$C(u,0) = C(0, v) = 0 \text{ και } C(u,1) = u, C(1, v) = v$$

ii) Για όλα τα u_1, u_2, v_1, v_2 έτσι ώστε $u_1 \leq u_2, v_1 \leq v_2$

$$C(u_2, v_2) - C(u_1, v_2) - C(u_2, v_1) + C(u_1, v_1) \geq 0$$

από τον παραπάνω ορισμό προκύπτουν τα συμπεράσματα ότι κάθε copula είναι:

- 1) Αύξουσα για κάθε μεταβλητή,
- 2) Συνεχής και
- 3) Ικανοποιεί την ανισότητα:

$$\max[u + v - 1, 0] \leq C(u, v) \leq \min[u, v], \text{ για κάθε } u, v \in [0,1],$$

όπου τα $\max[u + v - 1, 0]$ και $\min[u, v]$ αποτελούν επίσης *συζεύξεις* και ονομάζονται **κάτω και άνω όρια Fréchet**.

Κεντρικό θεώρημα της θεωρίας των συζεύξεων, αλλά και βάση για τις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές τους αποτελεί το θεώρημα του Sklar [Sklar, 1959], που παρουσιάζεται παρακάτω.

Θεώρημα Sklar

Αν $H(x, y)$ μια διδιάστατη συνάρτηση κατανομής με *περιθώριες* συναρτήσεις $F(x)$ και $G(y)$. Τότε υπάρχει μια *σύζευξη* $C(u, v)$ τέτοια ώστε:

$$H(x, y) = C(F(x), G(y)) \text{ για } x, y \in R. \text{ (2.1.4)}$$

και **αντίστροφα**:

Για κάθε συνάρτηση κατανομής $F(x)$ και $G(y)$ και κάθε *σύζευξη* $C(u, v)$, η συνάρτηση $H(x, y)$ που ορίστηκε παραπάνω είναι μια διδιάστατη συνάρτηση κατανομής με *περιθώριες συναρτήσεις* $F(x)$ και $G(y)$.

Από το θεώρημα προκύπτει ότι:

- Εάν οι $F(x)$ και $G(y)$ είναι συνεχείς συναρτήσεις, τότε η $C(u, v)$ είναι μοναδική.

- Για συνεχείς περιθώριες συναρτήσεις $F(x)$ και $G(y)$ η μοναδική σύζευξη $C(u, v)$, για $(u, v) \in [0, 1] \times [0, 1]$ έχει τη μορφή :

$$C(u, v) = H(F^{-1}(u), G^{-1}(v)),$$

όπου F^{-1} και G^{-1} οι αντίστροφες των συναρτήσεων $F(x)$ και $G(y)$ αντίστοιχα.

- Η σύζευξη $C(u, v)$ είναι μια συνάρτηση που συνδέει την από κοινού συνάρτηση κατανομής με τις περιθώριες της.
- Όταν $F(x)$ και $G(y)$ είναι συνεχείς τότε οι τυχαίες μεταβλητές X και Y είναι ανεξάρτητες αν και μόνο αν $H(x, y) = F(x)G(y)$ για $x, y \in R$. Ισοδύναμα, οι τυχαίες μεταβλητές X και

6.3 Αρχιμήδειες Συζεύξεις (Archimedean Copulas)

Οι Αρχιμήδειες συζεύξεις εμφανίζουν ευρεία χρήση που οφείλεται στο γεγονός ότι αποτελούν μονοπαραμετρικές οικογένειες συζεύξεων και έτσι μπορούν εύκολα να κατασκευαστούν και να υπολογιστούν. Στη συνέχεια ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων των τριών πιο σημαντικών οικογενειών copulas της κατηγορίας αυτής και συγκεκριμένα:

- α) της Clayton Copulas
- β) της Frank Copulas
- γ) της Gumbel Copulas

A.Οικογένεια Gumbel

Εστω η συνεχής συνάρτηση $\varphi(t) = (-\ln t)^\theta$, όπου $\theta \geq 1$ και $\varphi(1) = 0$. Έχουμε $\varphi'(t) = -\theta(-\ln t)^{\theta-1} \frac{1}{t}$, οπότε η $\varphi(t)$ είναι φθίνουσα συνάρτηση με $[0, 1] \rightarrow [0, \infty]$. Ισχύει ότι $\varphi''(t) \geq 0$ στο $[0, 1]$, οπότε η $\varphi(t)$ στο διάστημα αυτό είναι κυρτή. Η φ αποτελεί τον γεννήτορα της παρακάτω σύζευξης :

$$C_\theta = \varphi^{-1}(\varphi(u) + \varphi(v)) = \exp(-[(-\ln u)^\theta + (-\ln v)^\theta]^{\frac{1}{\theta}})$$

B. Οικογένεια Clayton

Εστω η συνεχής συνάρτηση $\varphi(t) = \frac{t^{-\theta} - 1}{\theta}$, όπου $\theta \in (-1, 0) \cup (0, \infty)$

Η φ αποτελεί τον γεννήτορα της οικογένειας συζεύξεων Clayton και περιγράφονται από τη σχέση :

$$C_{\theta}(u, v) = \max \left(\left[(u)^{-\theta} + (v)^{-\theta} - 1 \right]^{\frac{1}{\theta}}, 0 \right)$$

Και για $\theta > 0$ οι συζεύξεις της κατηγορίας αυτής δίνονται από τη σχέση:

$$C_{\theta}(u, v) = \left[(u)^{-\theta} + (v)^{-\theta} - 1 \right]^{\frac{1}{\theta}}$$

Γ. Οικογένεια Frank

Εστω η συνεχής συνάρτηση $\varphi(t) = -\ln \frac{e^{-\theta t} - 1}{e^{-\theta} - 1}$, όπου $\theta \in (-\infty, 0) \cup (0, \infty)$. Η συνάρτηση αποτελεί τον γεννήτορα της οικογένειας συζεύξεων Frank, η οποία περιγράφεται από τη σχέση :

$$C_{\theta}(u, v) = -\frac{1}{\theta} \ln \left(1 + \frac{(e^{-\theta u} - 1)(e^{-\theta v} - 1)}{e^{-\theta} - 1} \right)$$

Συντελεστής συσχέτισης Kendall τ

Αν τώρα X και Y υχάιες μεταβλητές και C μία Αρχιμήδεια σύζευξη ο συντελεστής συσχέτισης του Kendall τ εκφράζεται:

$$\tau = 1 + 4 \int_0^1 \frac{\varphi(t)}{\varphi'(t)} dt$$

όπου φ η γενεσιουργός συνάρτηση της σύζευξης

Οικογένεια Gumbel

Οπότε αν $\varphi(t) = (-\ln t)^\theta$ η γεννήτρια συνάρτηση έχουμε $\frac{\varphi(t)}{\varphi'(t)} = \frac{t \ln t}{\theta}$, άρα ο συντελεστής συσχέτισης τ εκφράζεται από τη σχέση :

$$\tau = 1 + 4 \int_0^1 \frac{t \ln t}{\theta} dt = 1 + \frac{4}{\theta} \left(\left[\frac{x^2}{2} \ln t \right] - \int_0^1 \frac{t}{2} dt \right) = 1 - \frac{1}{\theta}$$

Οικογένεια Clayton

Οπότε αν $\varphi(t) = \frac{t^{-\theta} - 1}{\theta}$ η γεννήτρια συνάρτηση έχουμε $\frac{\varphi(t)}{\varphi'(t)} = \frac{t^{\theta+1} - t}{\theta}$, οπότε ο συντελεστής συσχέτισης τ εκφράζεται από τη σχέση :

$$\tau = 1 + 4 \int_0^1 \frac{t^{\theta+1} - 1}{\theta} dt = 1 + \frac{4}{\theta} \left(\frac{1}{\theta+2} - \frac{1}{2} \right) = \frac{\theta}{\theta+2}$$

Οικογένεια Frank

Οπότε αν $\varphi(t) = \ln \frac{e^{-\theta t} - 1}{e^{-\theta} - 1}$ η γεννήτρια συνάρτηση ο συντελεστής συσχέτισης τ εκφράζεται από τη σχέση :

$$\tau = 1 - \frac{4}{\theta} \left(1 - \frac{k}{x^k} \int_0^x \frac{t^k}{e^t - 1} dt \right) \text{ για κάθε θετικό αριθμό } k$$

6.4 Παρουσίαση του μοντέλου

Στην ενότητα αυτή γίνεται η περιγραφή του μοντέλου που χρησιμοποιούμε για να προσεγγίσουμε την αλληλεπίδραση που προκύπτει από την εφαρμογή συνδυασμού Risk Control Options (RCOs) αναφορικά με τη συνολική μείωση του αριθμού των θανάτων από ατυχήματα στη ναυτιλία. Επικεντρωθήκαμε στη χρήση

των Archimedean Copulas και συγκεκριμένα της κατηγορίας Clayton. Όπως δείξαμε προηγουμένως οι συζεύξεις της οικογένειας αυτής περιγράφονται από τη σχέση:

$$C(x, y) = [(x)^{-a} + (y)^{-a} - 1]^{1/a}$$

όπου $C(X, Y)$ αποτελεί μια Συνάρτηση Κατανομής και επί της ουσίας είναι μια σύζευξη των X, Y που αποτελούν επίσης συναρτήσεις Κατανομής των τυχαίων μεταβλητών x, y . Η αντίστοιχη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π) περιγράφεται από τη σχέση:

$$C(x, y|a) = \frac{(1+a)}{(xy)^{a+1}} \left[\frac{(xy)^a}{x^a + y^a - (xy)^a} \right]^{\frac{1+2a}{a}} \quad (2)$$

όπου x και y οι σ.π.π.

θεωρήσαμε ότι η ποσοστιαία μείωση του αριθμού των θανάτων που οφείλονται σε ατυχήματα που οφείλεται στην εφαρμογή των RCO, περιγράφεται όπως και στην ενότητα που διερευνήθηκε και αναπτύχθηκε η μεθοδολογία με την Portfolio Analysis (Κεφάλαιο 4) από μια **Κατανομή Γάμμα**. Οι παράμετροι της κατανομής αυτής προσδιορίζονται έχοντας σαν δεδομένα την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση της κατανομής αυτής. Επί της ουσίας, η μέση τιμή εκφράζει την ποσοστιαία μείωση που επιφέρει ένα RCO, η τιμή της οποίας στις περισσότερες Formal Safety Assessments (FSAs) προσδιορίζεται ως ο μέσος όρος της μείωσης που προτείνει μια ομάδα ειδικών. Οπότε στην εξίσωση (2) τα x, y αποτελούν συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας των εκάστοτε RCO που επιλέγουμε.

Από την μελέτη των FSA για τις κατηγορίες πλοίων τάνκερ, κρουαζιερόπλοιων, LNGs και κοντέινερ, αντλήσαμε το συμπέρασμα ότι τα RCO επιφέρουν μείωση στον αριθμό των θανάτων που κυμαίνεται από 2- 30%. Οπότε με δοκιμές στα επιμέρους διαστήματα επιδιώκουμε να προσδιορίσουμε την τιμή της παραμέτρου a για τα διάφορα RCO προκειμένου να καταλήξουμε σε ένα τελικό μοντέλο ώστε η τιμή της παραμέτρου στα υπο εξέταση διαστήματα να είναι τέτοια, που το αποτέλεσμα όσον αφορά στη συνολική μείωση, να λαμβάνει υπόψη την αλληλεπίδραση από την εφαρμογή περισσότερων του ενός RCO.

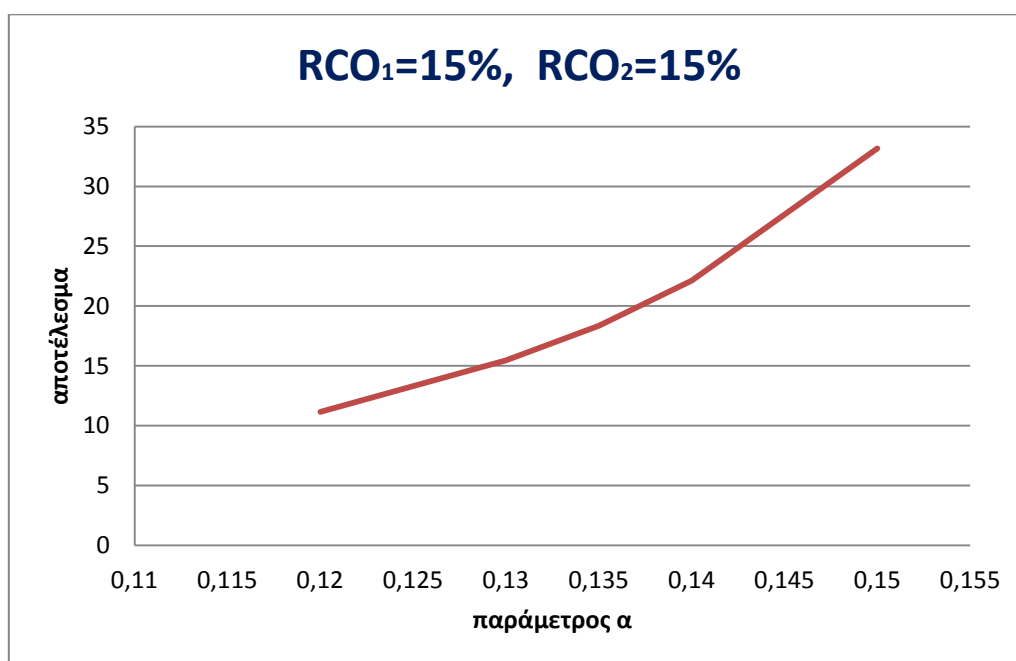
Στη συνέχεια μέσω διαγραμμάτων θα απεικονίσουμε πως μεταβάλλεται η τιμή της παραμέτρου a στα επιμέρους διαστήματα, ως προς την μέση τιμή της κατανομής της αποδοτικότητας του συνδυασμού RCO, που προκύπτει από την εφαρμογή της Clayton Copula. Ως x, y θεωρήσαμε τις συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας των

κατανομών Γαμμα των εκάστοτε RCO που επιλέγουμε. Τα υπό εξέταση διαστήματα είναι τα ακόλουθα :

6.4.1 Και τα 2 RCOs προκαλούν μείωση, των οποίων η μέση τιμή της κατανομής κυμαίνεται από 10-20%

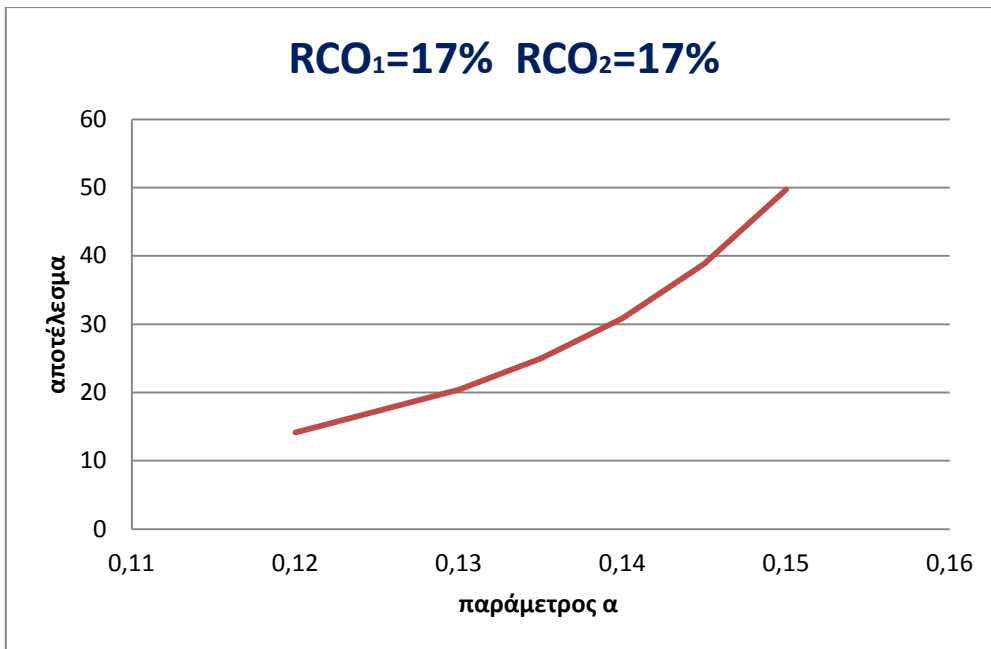
Οι μέσες τιμές των κατανομών των συνδυασμών RCO που εξετάζονται είναι οι ακόλουθες:

i) $RCO_1=15\%$, $RCO_2=15\%$



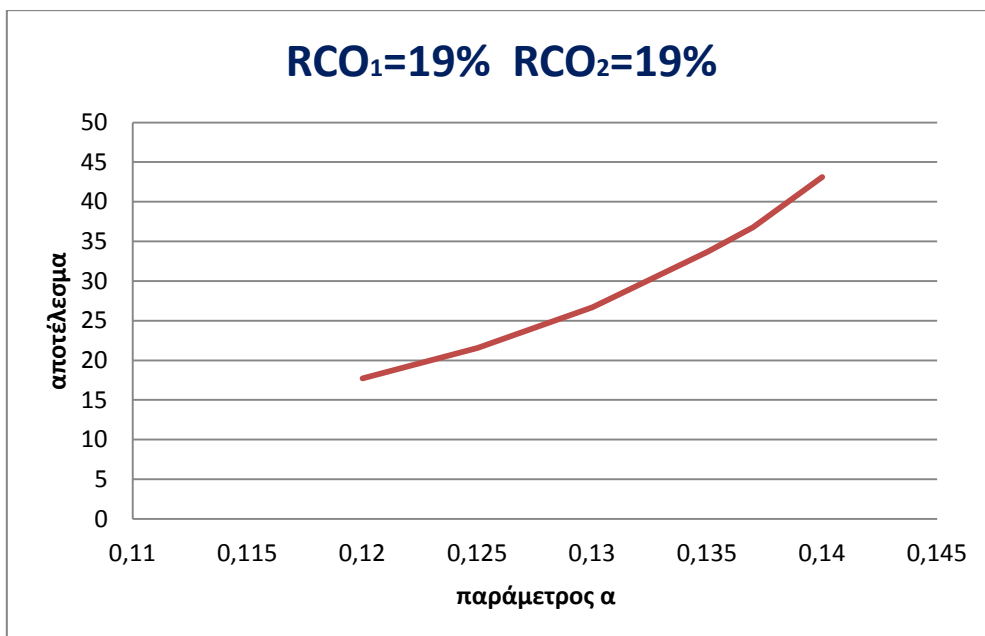
Σχήμα 6-1: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

ii) $RCO_1=17\%$, $RCO_2=17\%$



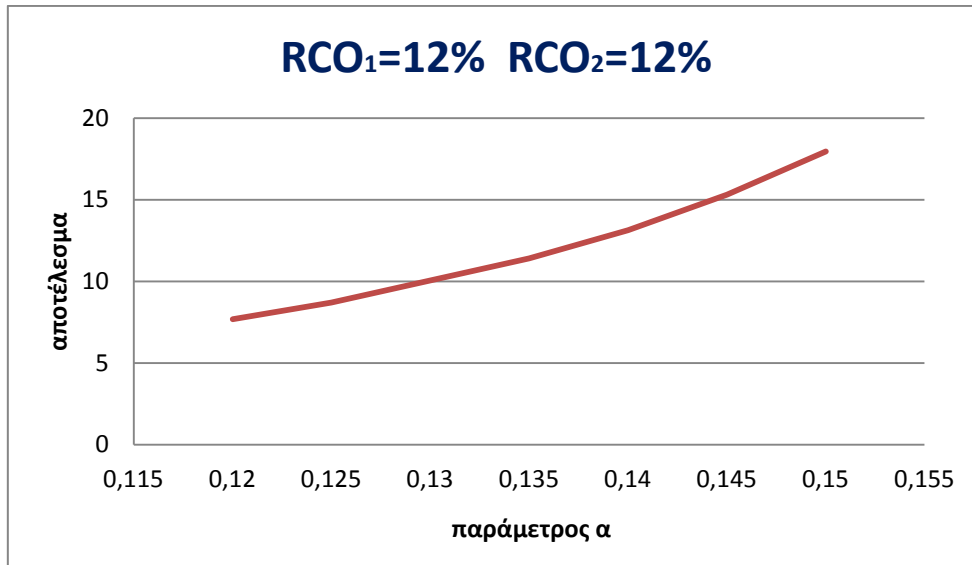
Σχήμα 6-2: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

iii) RCO₁=19%, RCO₂=19%



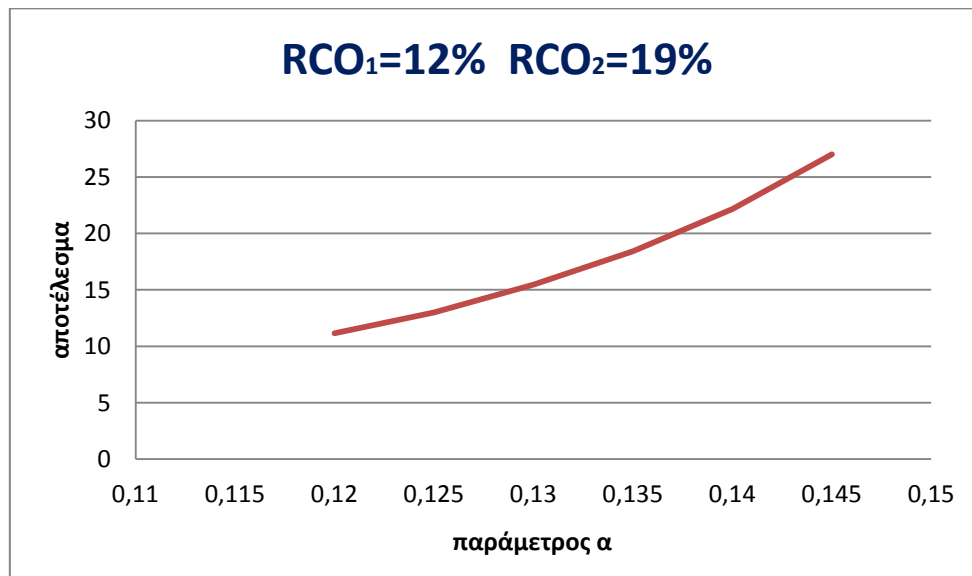
Σχήμα 6-3: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

iv) $RCO_1=12\%$, $RCO_2=12\%$



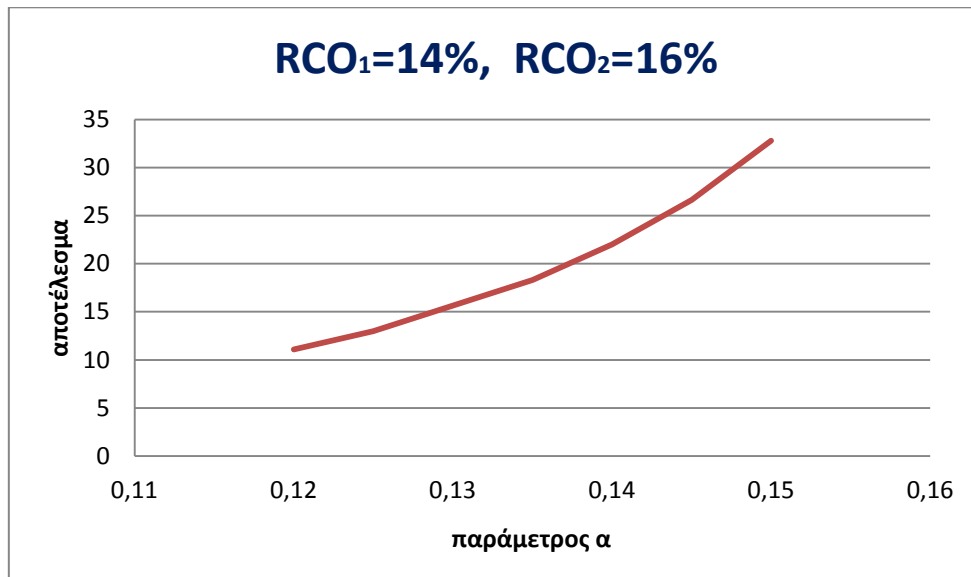
Σχήμα 6-4: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

v) $RCO_1=12\%$, $RCO_2=19\%$



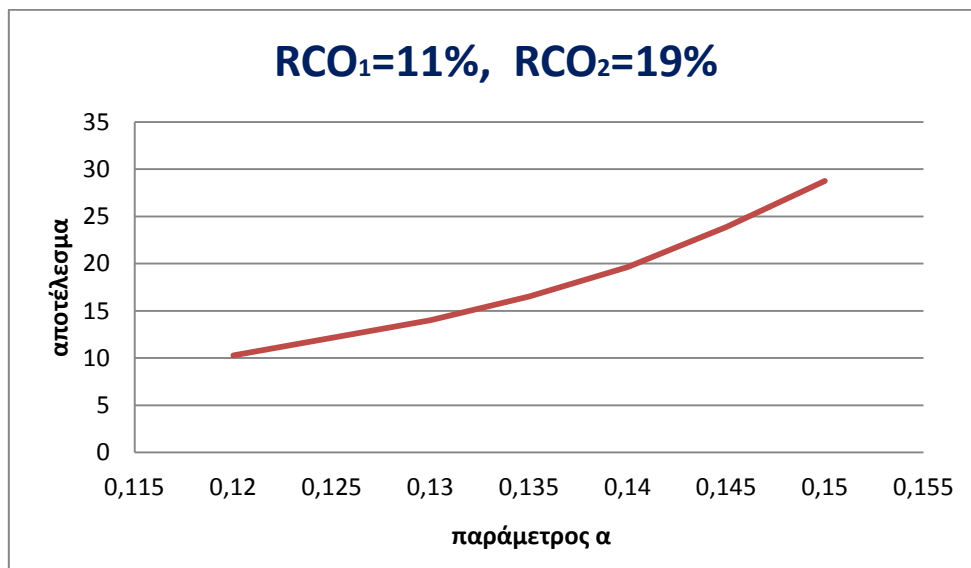
Σχήμα 6-5: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

vi) $RCO_1=14\%$, $RCO_2=16\%$



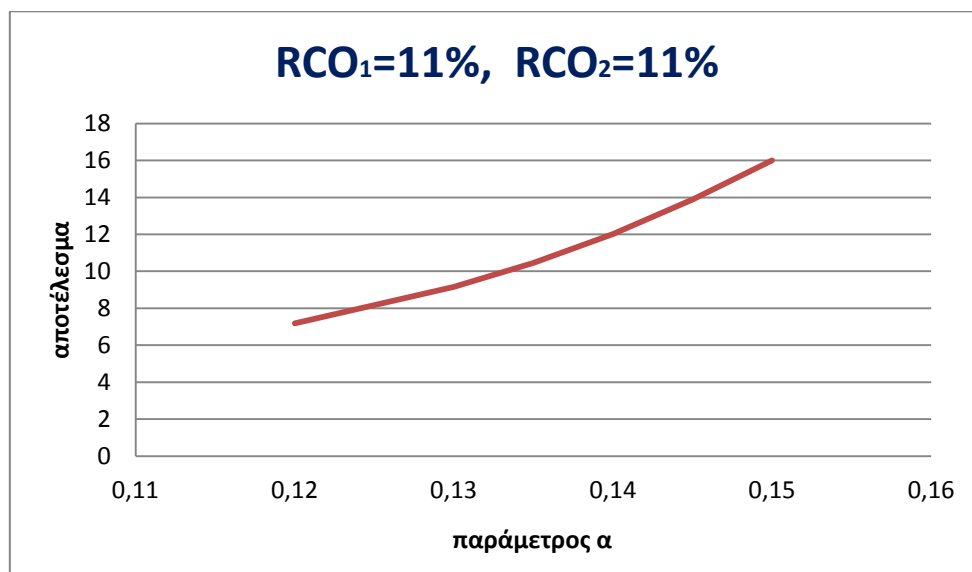
Σχήμα 6-6: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

vii) $RCO_1=11\%$, $RCO_2=19\%$



Σχήμα 6-7: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

viii) $RCO_1=11\%$, $RCO_2=11\%$



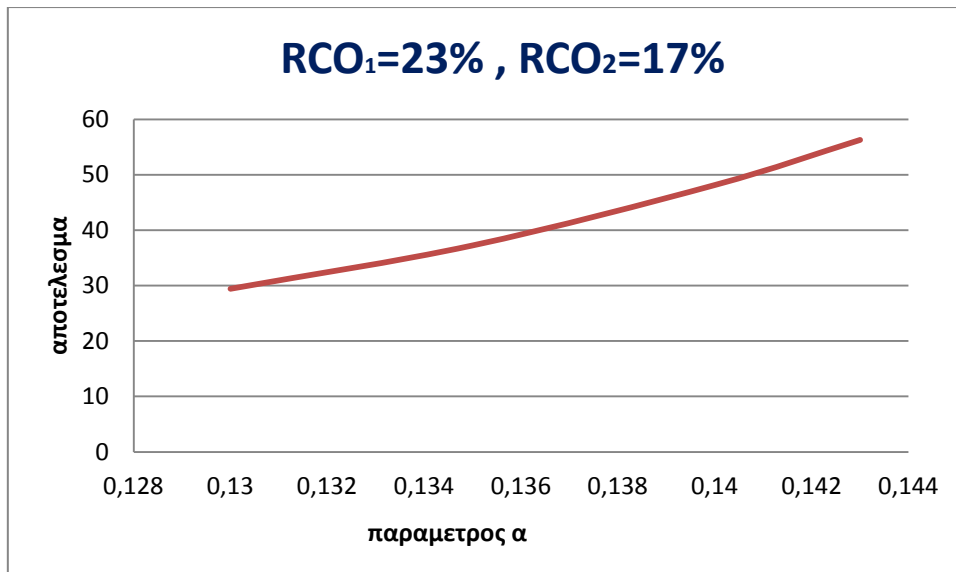
Σχήμα 6-8: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ότι για το υπό εξέταση διάστημα, η παράμετρος α παίρνει την τιμή $\alpha=0,137$

6.4.2 Το RCO_1 και το RCO_2 προκαλεί μείωση των οποίων η μέση τιμή της κατανομής κυμαίνεται στα διαστήματα 10-20% και 20-30% αντίστοιχα

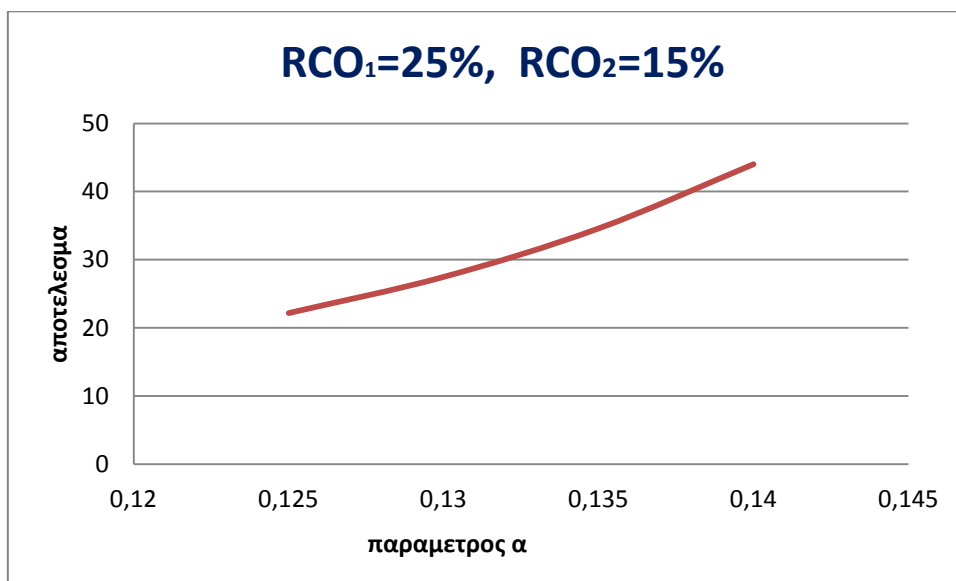
Οι μέσες τιμές των κατανομών των συνδυασμών RCOs που εξετάζονται είναι οι ακόλουθες:

i) $RCO_1=23\%$, $RCO_2=17\%$



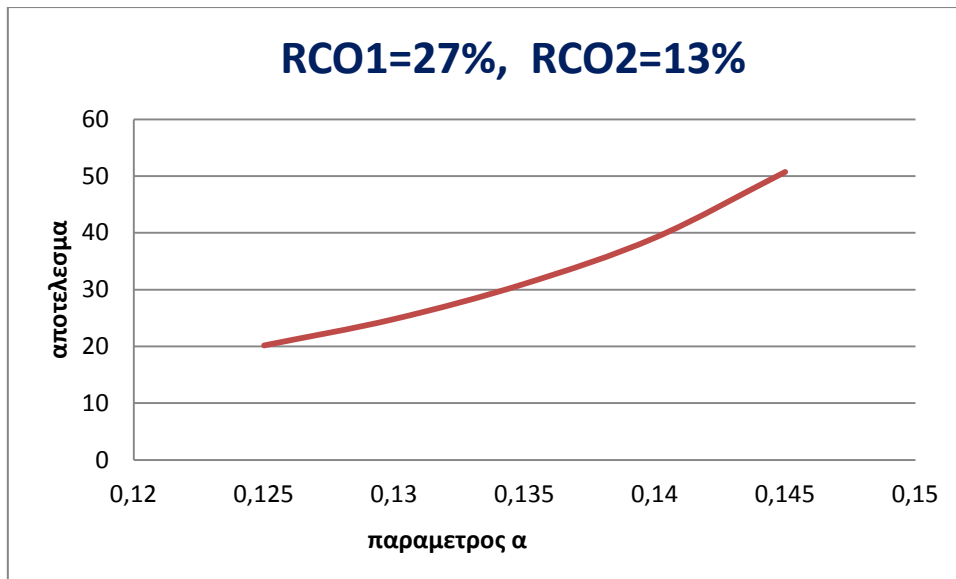
Σχήμα 6-9: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

ii) $RCO_1=25\%$, $RCO_2=15\%$



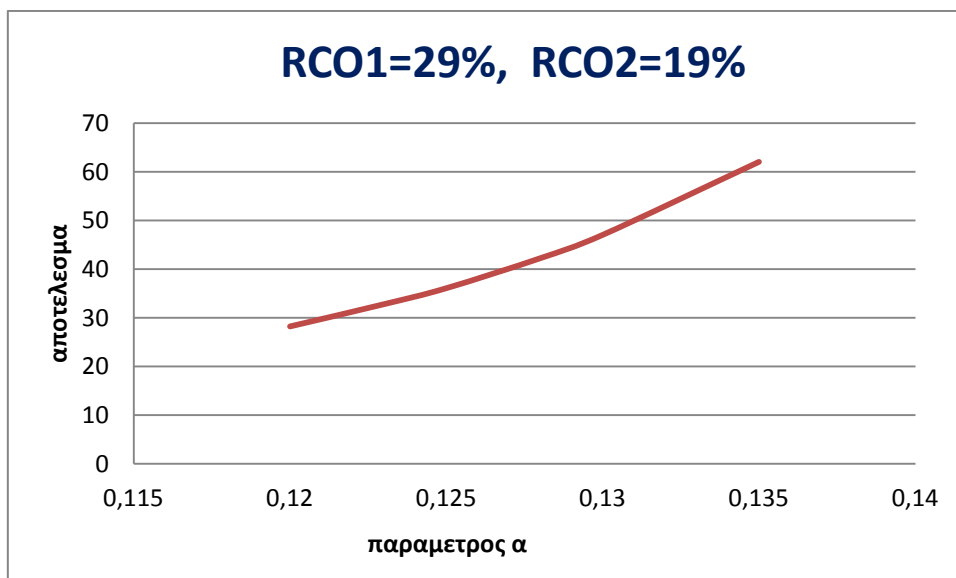
Σχήμα 6-10: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

iii) $RCO_1=27\%$, $RCO_2=13\%$



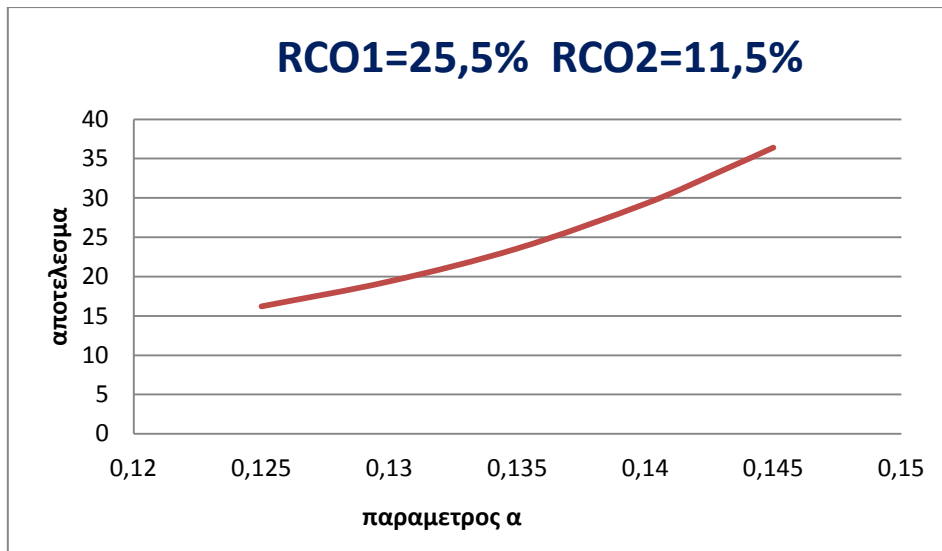
Σχήμα 6-11: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

iv) $RCO_1=29\%$, $RCO_2=19\%$



Σχήμα 6-12: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

v) $RCO_1=25\%$, $RCO_2=11\%$



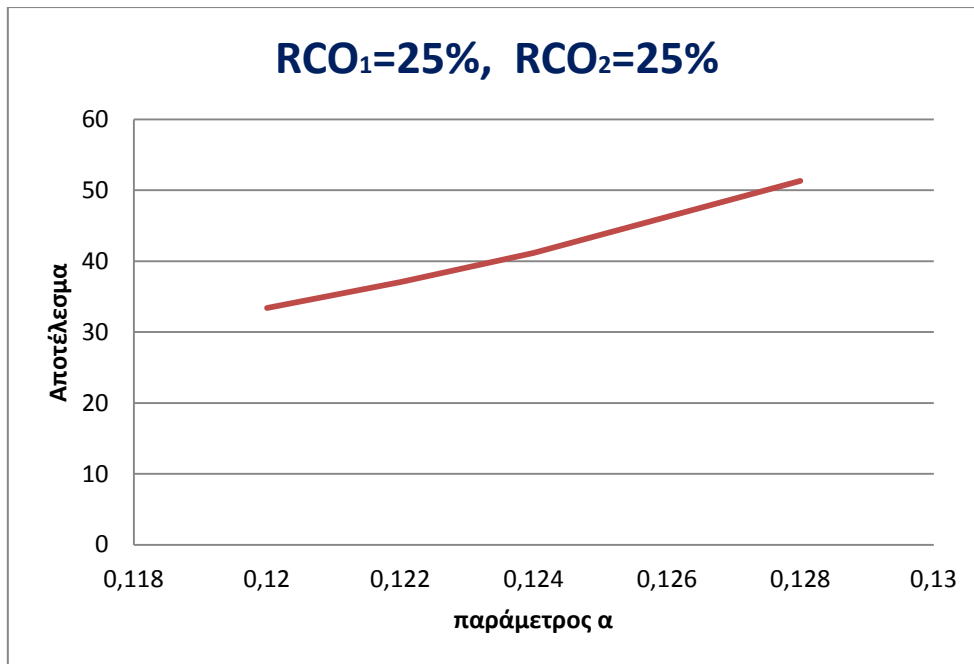
Σχήμα 6-13: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ότι για το υπό εξέταση διάστημα, η παράμετρος α παίρνει την τιμή $\alpha=0,13$

6.4.3 Και τα 2 RCO προκαλούν μείωση, των οποίων η μέση τιμή της κατανομής κυμαίνεται από 20-30%

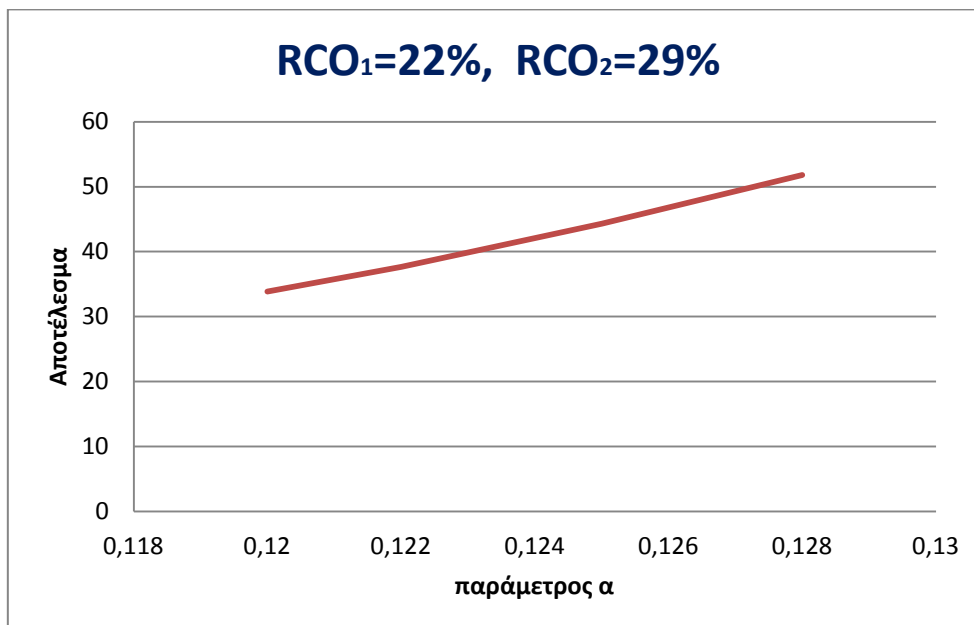
Οι μέσες τιμές των κατανομών των συνδυασμών των RCOs που εξετάζονται είναι οι ακόλουθες:

i) $RCO_1=25\%$, $RCO_2=25\%$



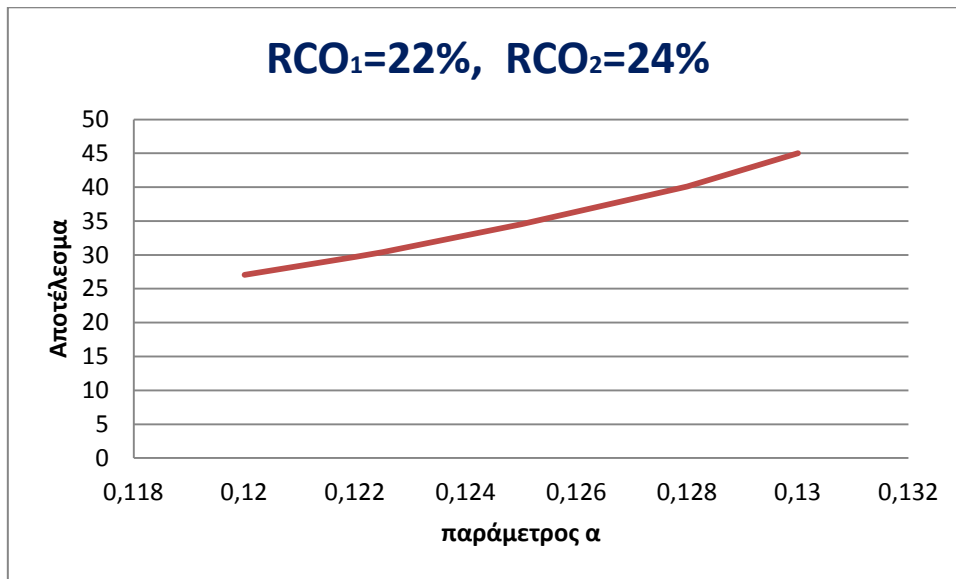
Σχήμα 6-14: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

ii) RCO₁=22%, RCO₂=29%



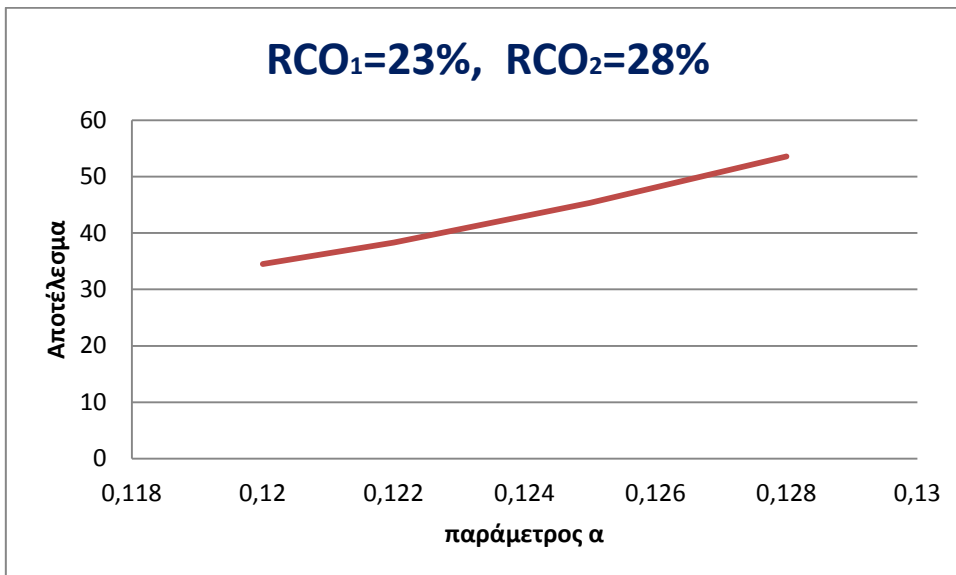
Σχήμα 6-15: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

iii) $RCO_1=22\%$, $RCO_2=24\%$



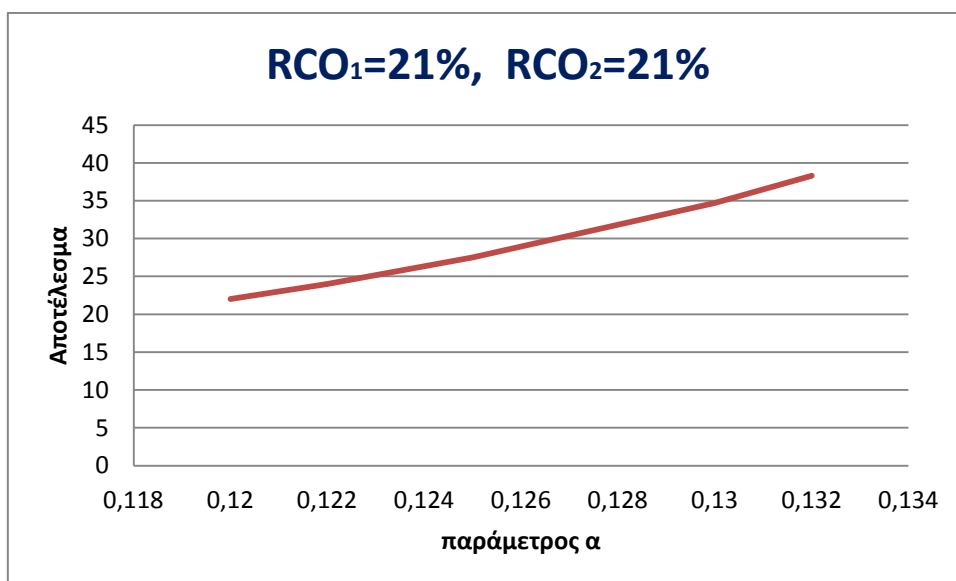
Σχήμα 6-16: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

iv) $RCO_1=23\%$, $RCO_2=28\%$



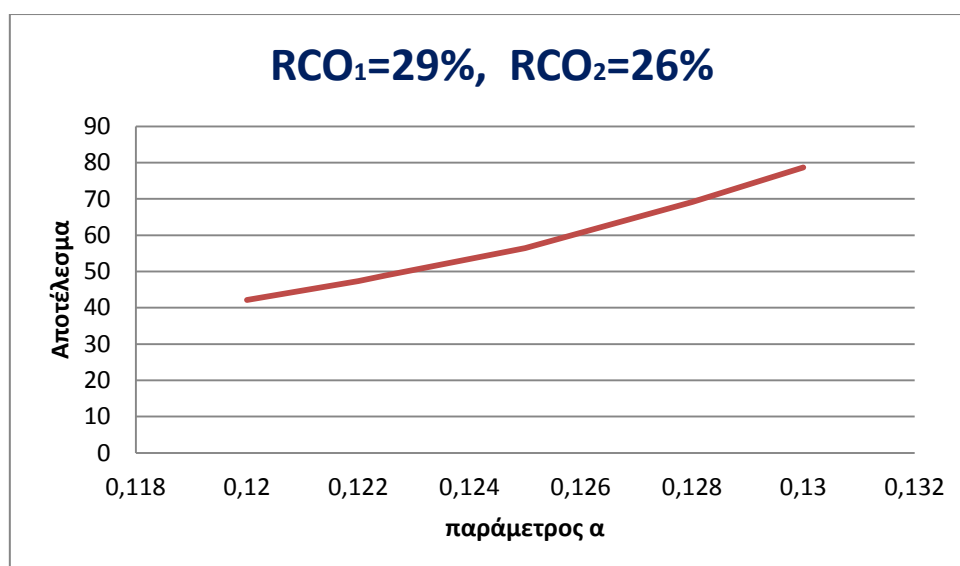
Σχήμα 6-17: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

v) $RCO_1=21\%$, $RCO_2=21\%$



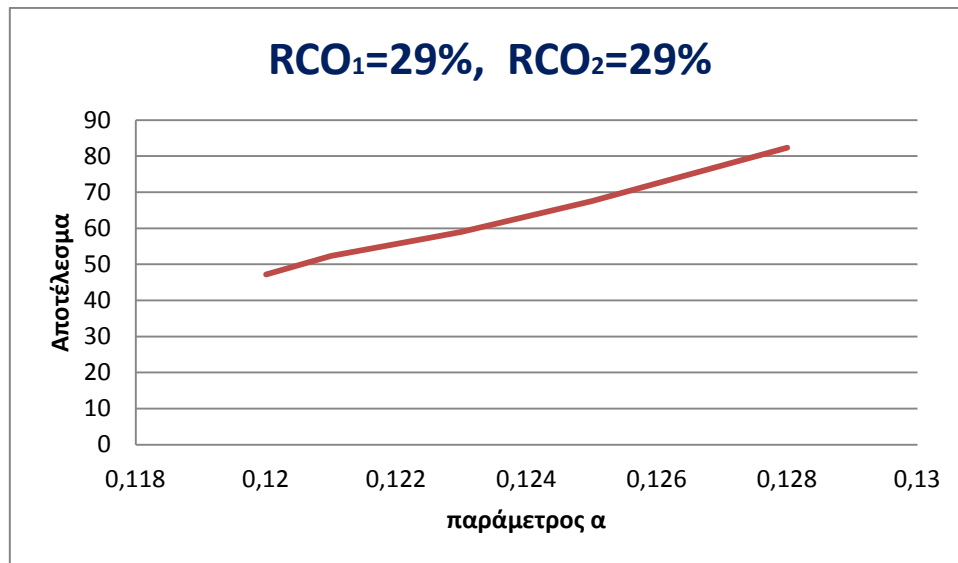
Σχήμα 6-18: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

vi) $RCO_1=29\%$, $RCO_2=26\%$



Σχήμα 6-19: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

vii) $RCO_1=29\%$, $RCO_2=26\%$



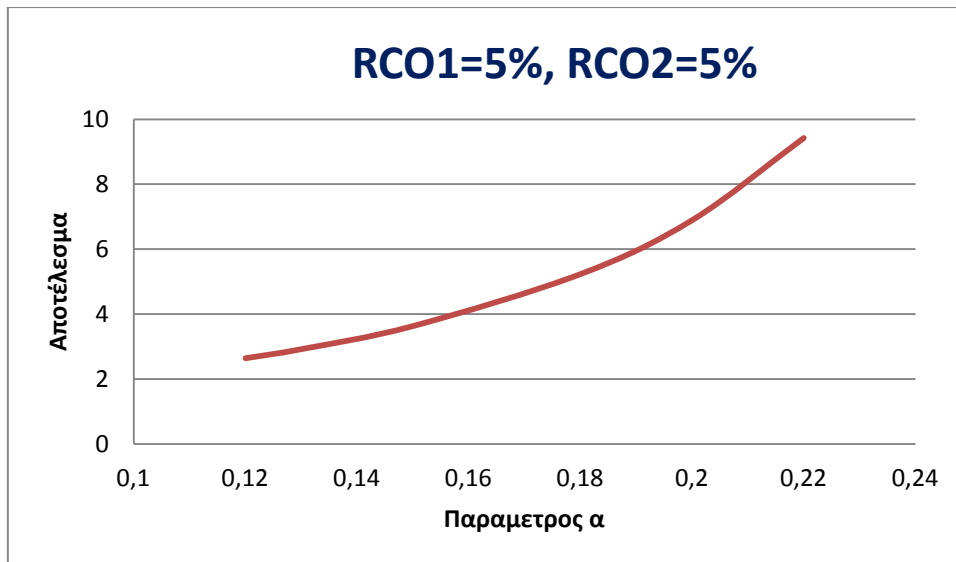
Σχήμα 6-20: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ότι για το υπό εξέταση διάστημα, η παράμετρος α παίρνει την τιμή $\alpha=0,1225$

6.4.4 Και τα 2 RCOs προκαλούν μείωση, των οποίων η μέση τιμή της κατανομής κυμαίνεται από 2-10%

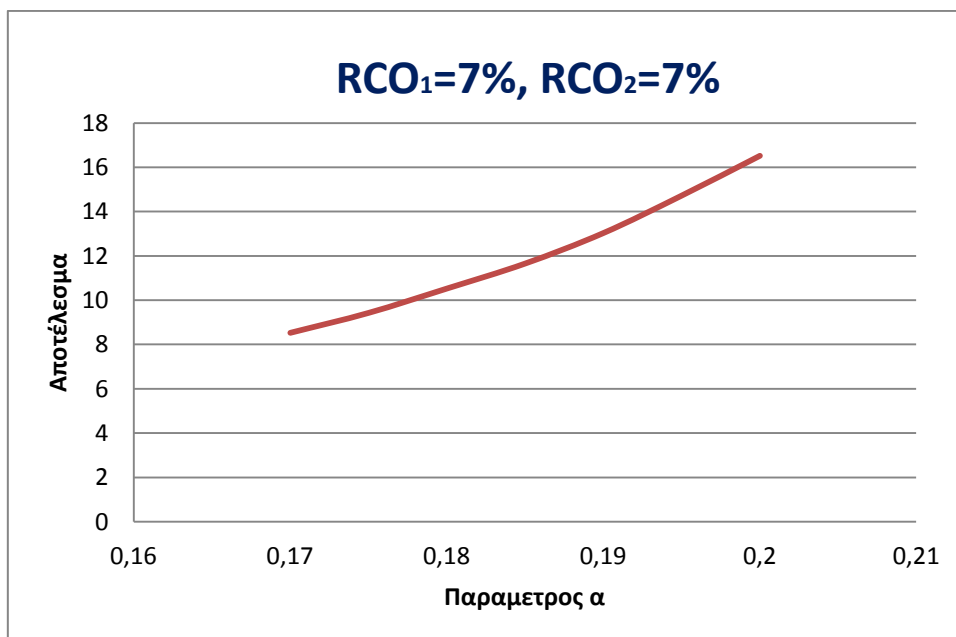
Οι μέσες τιμές των κατανομών των συνδυασμών των RCOs που εξετάζονται είναι οι ακόλουθες:

i) $RCO_1=5\%$, $RCO_2=5\%$



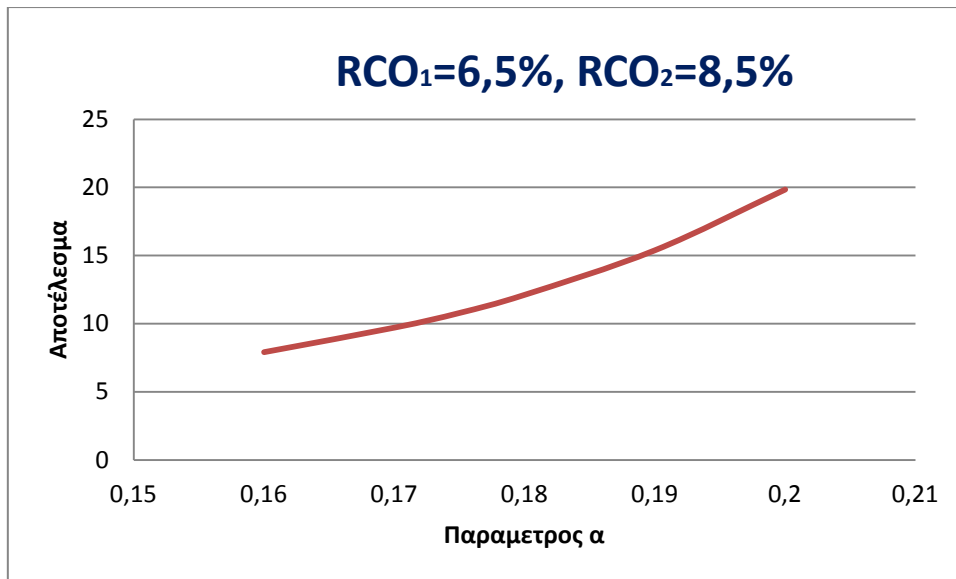
Σχήμα 6-21: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

ii) RCO₁=7%, RCO₂=7%



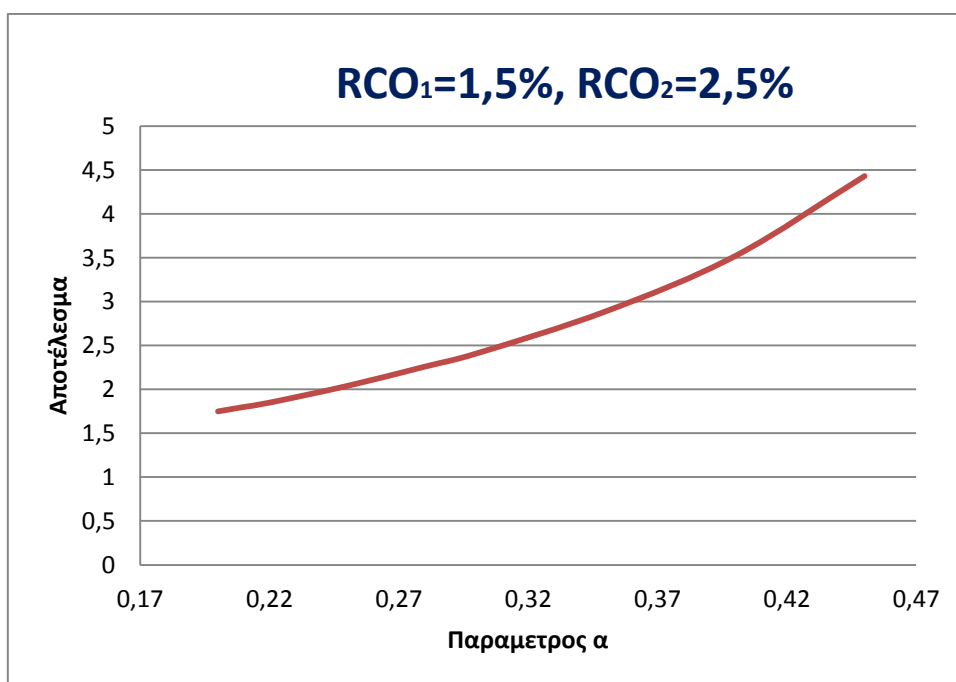
Σχήμα 6-22: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

iii) RCO₁=6,5%, RCO₂=8,5%



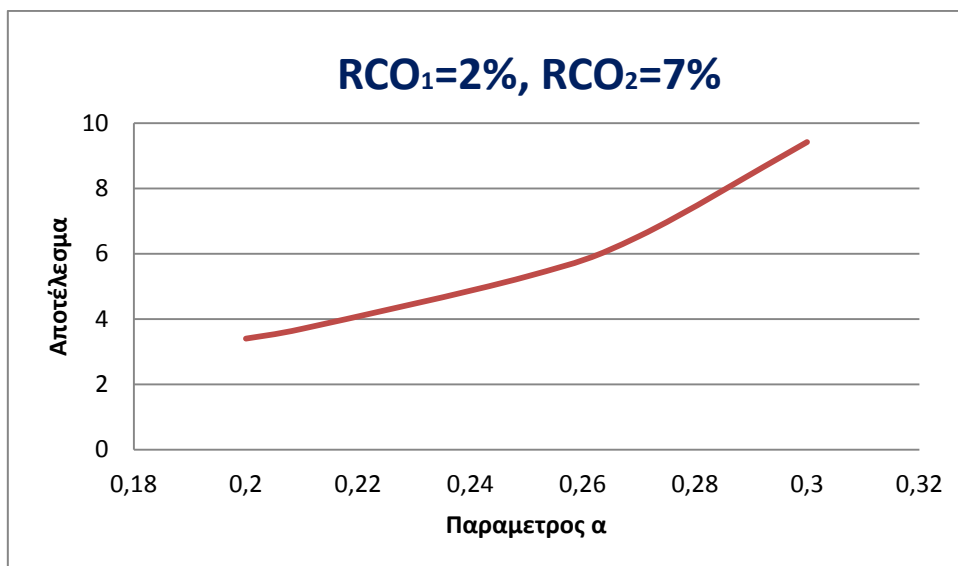
Σχήμα 6-23: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

iv) RCO₁=1,5%, RCO₂=2,5%



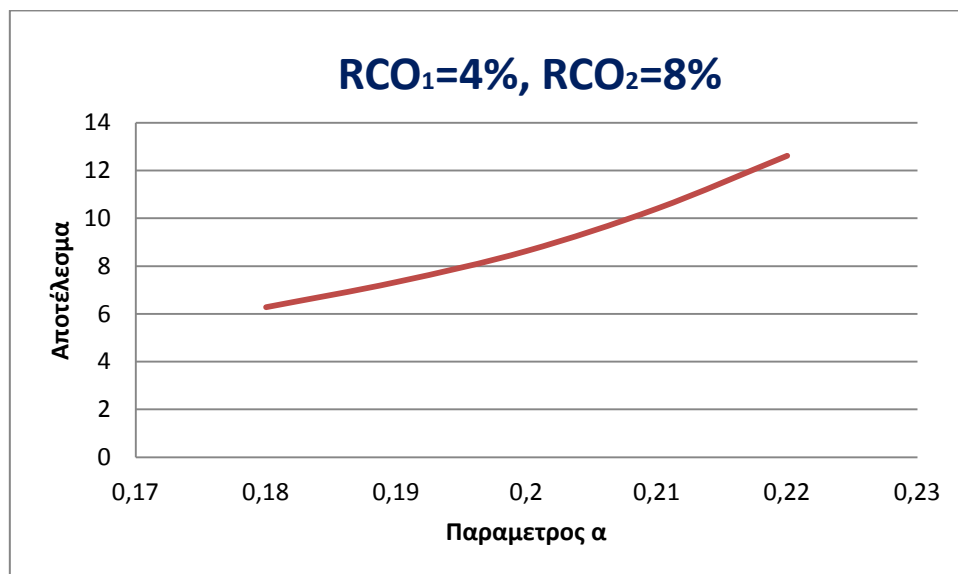
Σχήμα 6-24: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

v) $RCO_1=2\%$, $RCO_2=9\%$



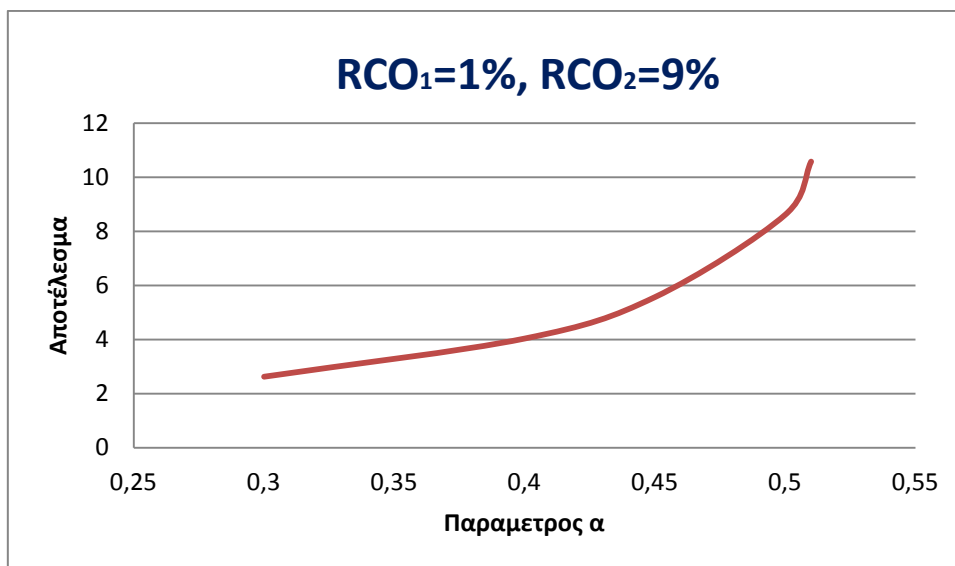
Σχήμα 6-25: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

vi) $RCO_1=4\%$, $RCO_2=8\%$



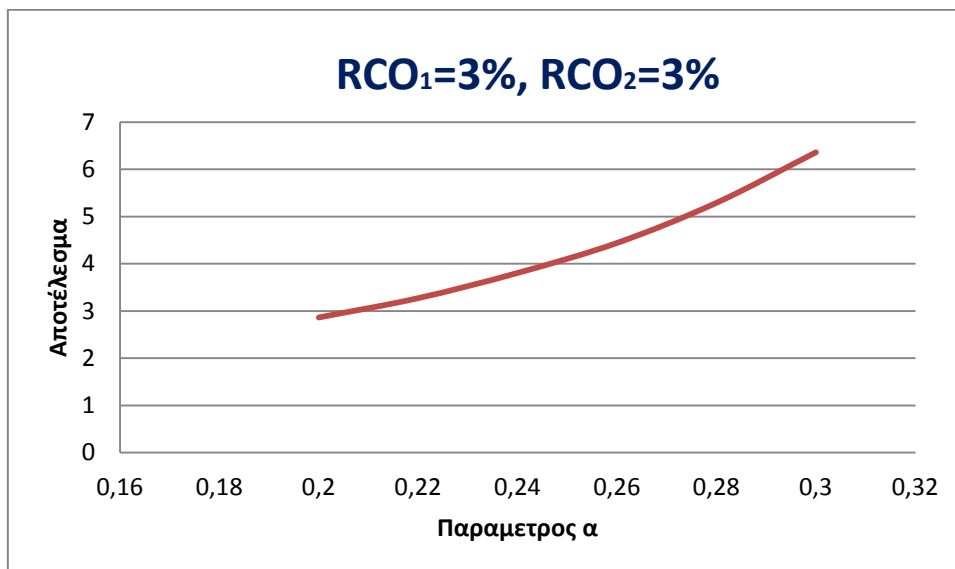
Σχήμα 6-26: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

vii) $RCO_1=1\%$, $RCO_2=9\%$



Σχήμα 6-27: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

viii) $RCO_1=3\%$, $RCO_2=3\%$

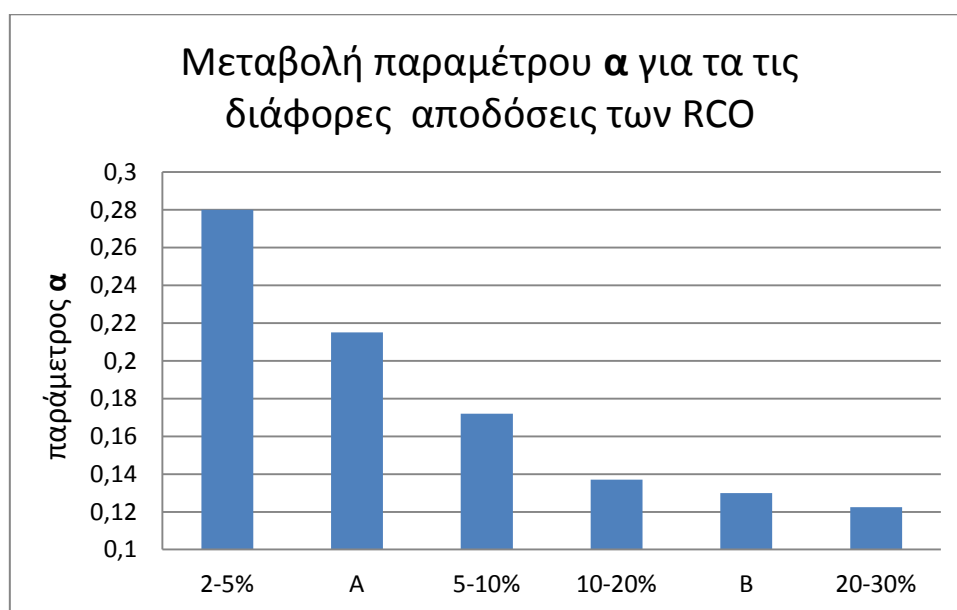


Σχήμα 6-28: Μεταβολή της συνολικής μείωσης ως προς την παράμετρο α

Οπότε συγκεντρωτικά η παράμετρος α παίρνει τις τιμές που συνοψίζονται στον πίνακα 6-1

Πίνακας 6-1: Τιμή παραμέτρου α για τις διάφορες τιμές της μείωσης που προκαλούν τα RCO

ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ		παράμετρος α
RCO1	RCO2,	
2-5%		0,28
5-10%		0,172
2-5%,	5-10%	0,215
10-20%		0,137
20-30%		0,1225
10-20%	20-30%	0,13



Σχήμα 6-29: Τιμή της παραμέτρου α για τις διάφορες τιμές της μείωσης των θανάτων που προκαλούν τα RCO

6.5 Αριθμητικός υπολογισμός της απόδοσης για τον συνδυασμό RCO στην περίπτωση των Cruise Ships

Στην ενότητα αυτή θα μελετήσουμε τον συνδυασμό των Μέτρων Καταστολής του Ρίσκου (RCO) που χρησιμοποιήθηκαν και στις προηγούμενες μεθοδολογίες. Θα επικεντρωθούμε στα RCO των οποίων τα δ για την περίπτωση των κρουαζιεροπλοίων. Τα RCO για τα οποία θα υπολογισθεί η συνολική μείωση των θανάτων που προκαλούν είναι:

- Η αύξηση του μετακεντρικού ύψους κατά 0,5m
- Η προσθήκη εφεδρικής Πλευστότητας στο κατάστρωμα Στεγανών
- Η αύξηση του ύψους εξάλων κατά 0,5m

Οπότε ορίζουμε ως RCO_1 την αύξηση του μετακεντρικού ύψους κατά 0,5m, ως RCO_2 την αύξηση του ύψους εξάλων κατά 0,5m και ως RCO_3 την προσθήκη εφεδρικής πλευστότητας. Η μείωση της πιθανότητας να εκδηλωθεί ένα θανατηφόρο ατύχημα λόγω της χρήσης τόσο του RCO_1 και RCO_2 περιγράφεται και στις δύο περιπτώσεις από μια κατανομή Γάμμα, η μέση τιμή της οποίας είναι 25,5%, και η τυπική της απόκλιση 5,1%, ενώ λόγω της χρήσης του RCO_3 από μια κατανομή γάμμα με μέση τιμή 16,4% και τυπική απόκλιση 3,3%. Οπότε οι 2 παράμετροι των κατανομών προκύπτουν από τις σχέσεις:

$$\text{μέση τιμή} = k\theta \quad (1) \quad \text{και} \quad \text{τυπική απόκλ.} = \sqrt{k}\theta \quad (2)$$

και παίρνουν τις τιμές που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 6-2: Πίνακας 6-2: οι παράμετροι K, θ των κατανομών γάμμα που περιγράφουν τα RCOs

	RCO1, RCO2	RCO3,
K=	25	25
θ =	1,02	0,66

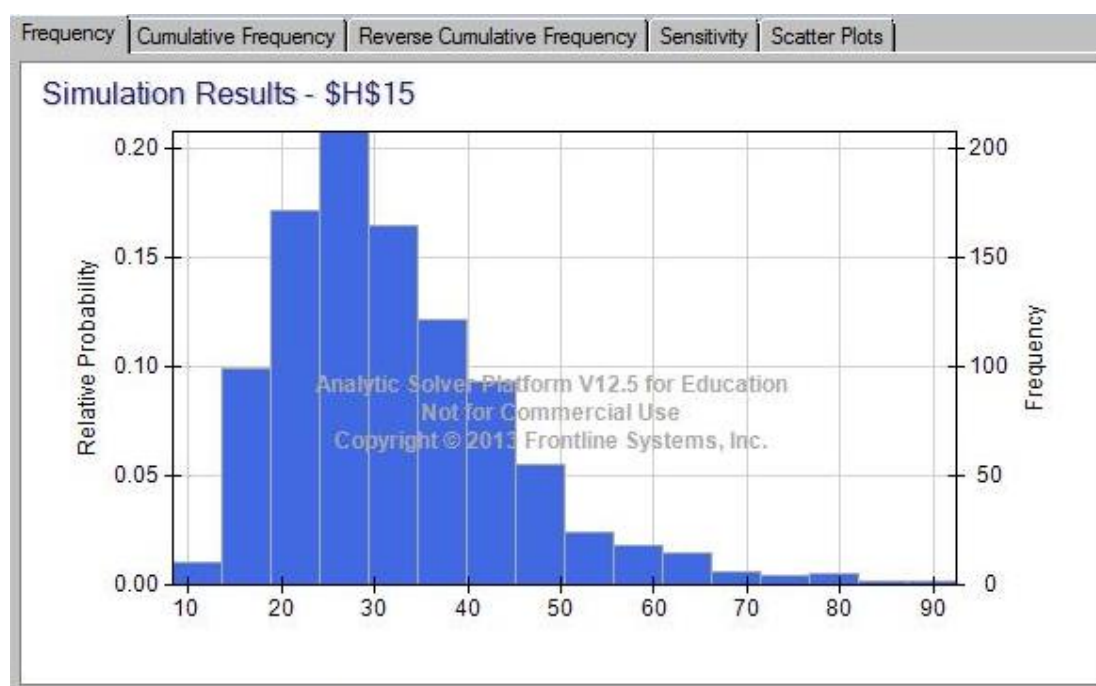
Οπότε αν στην σχέση (3) που υπολογίζει την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της σύζευξης Clayton

$$C(x, y|a) = \frac{(1+a)}{(xy)^{a+1}} \left[\frac{(xy)^a}{x^a + y^a - (xy)^a} \right]^{\frac{1+2a}{a}} \quad (3)$$

εφαρμόσουμε όπου x και y τις κατανομές Γ με τις παραμέτρους που υπολογίσαμε παραπάνω και επιλέγοντας για την **παράμετρο α** την τιμή, όπως προέκυψε στην ενότητα 6.4 του παρόντος κεφαλαίου .

1) Από την ταυτόχρονη εφαρμογή των RCO_1 και RCO_3 :

Με τη βοήθεια του λογισμικού Risk Solver που επιτέπει την πραγματοποίηση Monte Carlo προσομοιώσεων και επιλέγοντας ως παράμετρο α την τιμή 0,13 (6.4.3 ενότητα) προκύπτει ότι η συνολική ποσοστιαία μείωση του αριθμού θανάτων με την εφαρμογή και των δύο μέτρων περιγράφεται από την κατανομή, το ιστόγραμμα της οποίας φαίνεται στην παρακάτω εικόνα

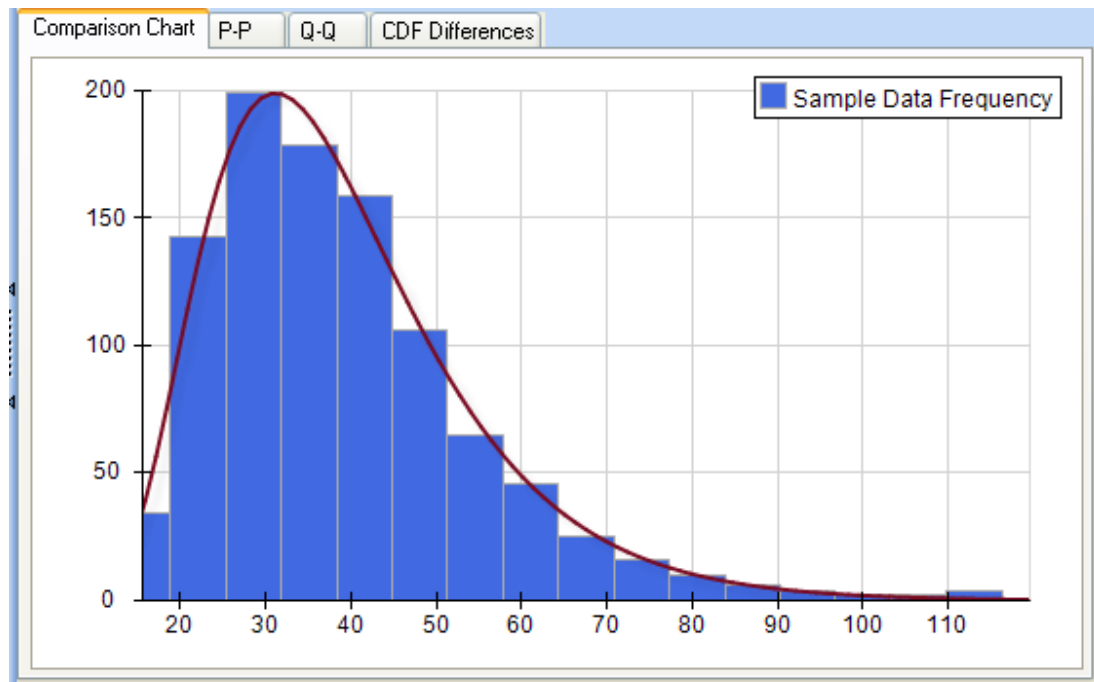


Σχήμα 6-30: Ιστόγραμμα της κατανομής της τελικής μείωσης, που προκαλεί η εφαρμογή των RCO_1 και RCO_3

Η μέση τιμή της κατανομής αυτής είναι 32% και η τυπική απόκλιση 12,5%

2) Από την ταυτόχρονη εφαρμογή των RCO_1 και RCO_2 :

Πάλι με τη βοήθεια του λογισμικού Risk Solver ,πραγματοποιήθηκαν Monte Carlo προσομοιώσεις και επιλέγοντας ως παράμετρο α την τιμή 0,1225 (6.4.2 ενότητα), προέκυψε ότι η συνολική ποσοστιαία μείωση του αριθμού των θανάτων με την εφαρμογή και δύο μέτρων περιγράφεται από την μια κατανομή, το ιστόγραμμα της οποίας φαίνεται στην παρακάτω εικόνα



Σχήμα 6-31: Ιστόγραμμα της κατανομής της τελικής μείωσης, που προκαλεί η εφαρμογή των RCO_1 και RCO_2

Η μέση τιμή της κατανομής αυτής είναι 39,2% και η τυπική απόκλιση 15,4%

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο:

Πιθανολογική Εξαγωγή Συμπερασμάτων κατά Bayes

7 .Πιθανολογική Εξαγωγή Συμπερασμάτων κατά Bayes

7.1 Βασικές έννοιες πιθανοτήτων

Δεσμευμένη πιθανότητα

Η πιθανότητα να πραγματοποιηθεί το γεγονός A με την προϋπόθεση ότι το B έχει ήδη πραγματοποιηθεί, συμβολίζεται: $P(A/B)$ και ονομάζεται ως **δεσμευμένη πιθανότητα** του B δεδομένου του A. Με $P(B)>0$ ορίζεται ως εξής:

$$P(A/B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}, \quad (7.1)$$

όπου $P(A \cap B)$ η πιθανότητα να πραγματοποιηθεί ταυτόχρονα τα ενδεχόμενα A και B., με $P(A \cap B) = P(A/B) \times P(B) = P(B/A) \times P(A)$

Από τον παραπάνω ορισμό προκύπτει ότι αν ισχύει μία από τις σχέσεις:

$$P(A/B) = P(A) \quad \text{ή} \quad P(B/A) = P(B),$$

τότε τα ενδεχόμενα A και B είναι μεταξύ τους **ανεξάρτητα**.

θεώρημα Ολικής Πιθανότητας

Αν B_i ($i = 1, 2, \dots, N$), ασυμβίβαστα μεταξύ τους ενδεχόμενα και A ένα γεγονός το οποίο μπορεί να συμβαίνει ταυτόχρονα με καθένα από τα B_i , τότε το θεώρημα της ολικής πιθανότητας παίρνει τη μορφή:

$$P(A) = \sum_i P(A / B_i) \times P(B_i) \quad (7.2)$$

Θεώρημα του Bayes

Από τη θεωρία των πιθανοτήτων, το πιο διαδεδομένο εργαλείο για την εξαγωγή συμπερασμάτων είναι το **Θεώρημα του Bayes** :

$$P(H | E) = \frac{P(E | H) \times P(H)}{P(E)} \quad (7.3)$$

Σύμφωνα με το θεώρημα αυτό, η υπόθεση H (Hypothesis) δεδομένης της ένδειξης E (Evidence) μπορεί να υπολογιστεί από το γινόμενο της προηγούμενης σχετικής μας γνώσης για την υπόθεση H , $P(H)$, το ενδεχόμενο να πραγματοποιηθεί το E εφόσον το H ισχύει, δηλαδή με τη δεσμευμένη πιθανότητα $P(E/H)$. Η δεσμευμένη πιθανότητα $P(A / H)$ στη βιβλιογραφία απαντάται και ως «εκ των υστέρων πιθανότητα» (**posterior probability**), ενώ η πιθανότητα $P(A)$ ως «εκ των προτέρων πιθανότητα» (**prior probability**).

Η σχέση (7,3) αποτελεί τη γενική περίπτωση μιας υπόθεσης H και μιας ένδειξης E . Το θεώρημα του Bayes όμως παρέχει τη δυνατότητα εύκολα να γενικευτεί και να εκφράσει την περίπτωση όπου έχουμε n υποθέσεις (H_1, H_2, \dots, H_n) και m ενδείξεις (E_1, E_2, \dots, E_m). Στην περίπτωση αυτή η σχέση (3) παίρνει την μορφή της παρακάτω εξίσωσης:

$$P(H_i | E_1, E_2, \dots, E_m) = \frac{P(E_1, E_2, \dots, E_m | H_i) \times P(H_i)}{\sum_{j=1}^n P(E_1, E_2, \dots, E_m | H_j) \times P(H_j)} \quad (7.4)$$

Όμως η σχέση (7.4) στην πράξη δεν είναι πολύ πρακτική, καθώς προϋποθέτει τη γνώση για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των ενδείξεων για όλες τις υποθέσεις. Αν όμως θεωρήσουμε, ότι οι ενδείξεις (E_1, E_2, \dots, E_m) είναι υπό συνθήκη ανεξάρτητες (**conditionally independent**) μιας οποιαδήποτε υπόθεσης H_i τότε η (4) μπορεί να εκφραστεί από την ακόλουθη πιο εύχρηστη μορφή (Wiegerinck & Heske, 2002)

$$P(H_i | E_1, E_2, \dots, E_m) = \frac{P(E_1 | H_i) \times P(E_2 | H_i) \times \dots \times P(E_m | H_i) \times P(H_i)}{\sum_{j=1}^n [P(E_1 | H_j) \times P(E_2 | H_j) \times \dots \times P(E_m | H_j) \times P(H_j)]} \quad (7.5)$$

7.2 Παρουσίαση του μοντέλου

Με την χρήση των θεωρημάτων των δεσμευμένων πιθανοτήτων θα ορίσουμε τη δεσμευμένη πιθανότητα $P(A | R_A, R_B)$ (Smith, Bailer-Jones, 2011) . Συγκεκριμένα ισχύει:

$$P(A | R_A, R_B) = \frac{P(R_A, R_B | A) \times P(A)}{P(R_A, R_B)} \quad (7.6)$$

Με την προϋπόθεση ότι R_A και R_B είναι ανεξάρτητες μεταβλητές, τότε είναι και υπό συνθήκη ανεξάρτητες δεδομένου του A (Bailer-Jones, 2010) οπότε ισχύει :

$$P(R_A, R_B | A) = P(R_A | A) \times P(R_B | A)$$

Η εξίσωση (7.6) παίρνει τη μορφή:

$$P(A | R_A, R_B) = \frac{P(R_A | A) \times P(R_B | A) \times P(A)}{P(R_A, R_B)} \quad (7.7)$$

Χρησιμοποιώντας το θεώρημα του Bayes για να ξαναγράψουμε τα $P(R_A | A)$ και $P(R_B | A)$ προκύπτει:

- $P(R_A | A) = \frac{P(A | R_A) \times P(R_A)}{P(A)}$ και
- $P(R_B | A) = \frac{P(A | R_B) \times P(R_B)}{P(A)}$

τελικά λοιπόν η εξίσωση (7.7) καταλήγει:

$$P(A | R_A, R_B) = \frac{P(A | R_A) \times P(A | R_B) \times P(R_A) \times P(R_B)}{P(A) \times P(R_A, R_B)} \quad (7.8)$$

και επειδή R_A και R_B είναι ανεξάρτητες μεταβλητές ισχύει η σχέση

- $P(R_A, R_B) = P(R_A) \times P(R_B)$

η τελική μορφή της εξίσωσης είναι:

$$P(A | R_A, R_B) = \frac{P(A | R_A) \times P(A | R_B)}{P(A)} \quad (7.9)$$

7.3 Αριθμητικός υπολογισμός της αποδοτικότητας συνδυασμών των τριών RCO με τη βοήθεια του μπαεζιανού μοντέλου

Με βάση το μοντέλο που αναπτύχθηκε παραπάνω, τα τρία RCO που χρησιμοποιούμε για την πραγματοποίηση αριθμητικών υπολογισμών και στα πλαίσια αυτής της μεθοδολογίας, είναι τα εξής:

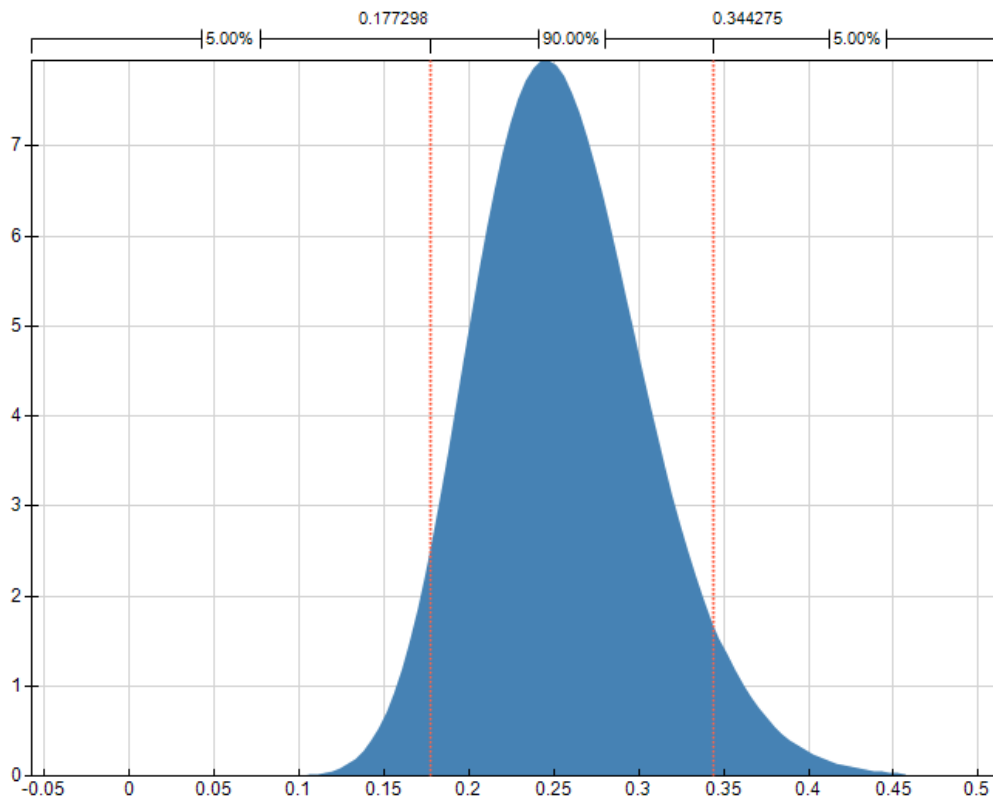
- RCO₁: Η αύξηση του μετακεντρικού ύψους κατά 0,5m
- RCO₂: Η αύξηση του ύψους εξάλων κατά 0,5m
- RCO₃: Η προσθήκη εφεδρικής Πλευστότητας στο κατάστρωμα Στεγανών φρακτών

Έστω R_1, R_2, R_3 η (%) μείωση του αριθμού των θανάτων που προκαλούν τα RCO₁, RCO₂ και RCO₃ αντίστοιχα. Τα R_1, R_2, R_3 θα θεωρήσουμε ότι ακολουθούν Κατανομή Γάμμα (αναλυτικότερα στο κεφάλαιο 4), οι παράμετροι της οποίας προσδιορίζονται έχοντας σαν δεδομένα την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση της κατανομής αυτής και συγκεκριμένα τις τιμές που προέκυψαν από τα δεδομένα της FSA για cruise ships (IMO, 2008) και χρησιμοποιήθηκαν τόσο στο κεφάλαιο όπου αναπτύχθηκε η portfolio analysis, όσο και στο κεφάλαιο των Συζεύξεων. Οπότε οι τιμές των παραμέτρων κ, θ των κατανομών γάμμα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

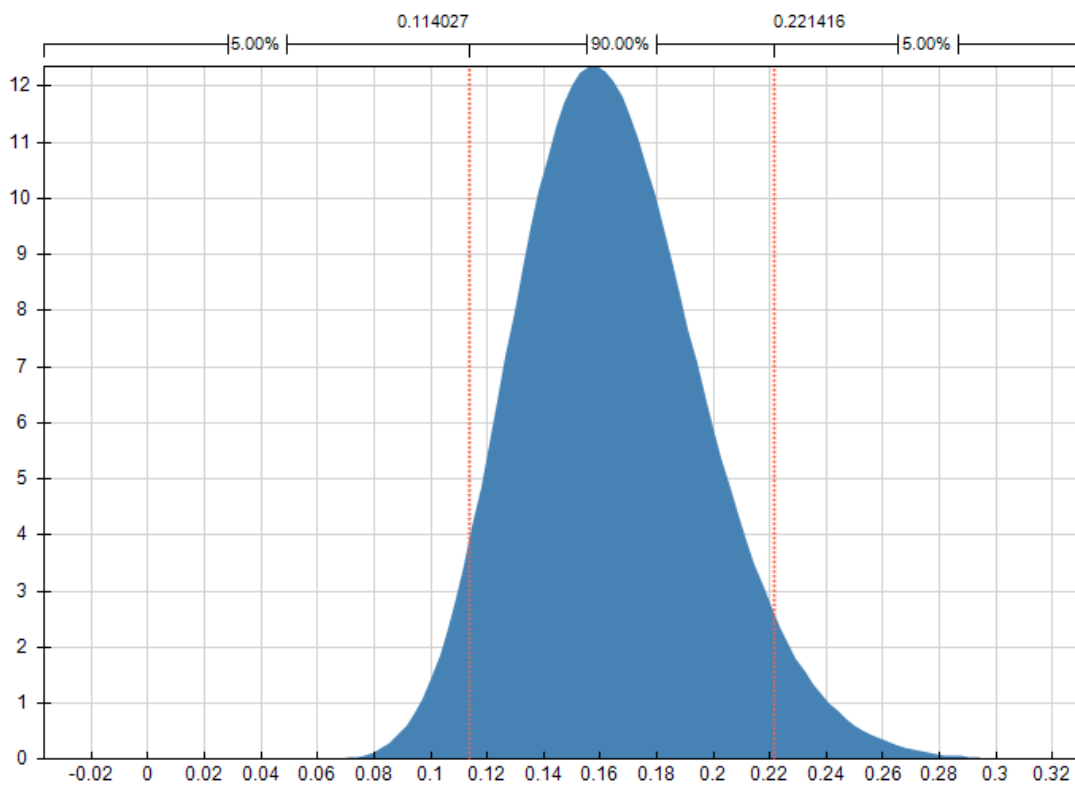
Πίνακας 7-1: Οι παράμετροι κ, θ των κατανομών γάμμα που περιγράφουν τα RCO

	R_1, R_2	R_3
Mean=	25,5	16,4
st.dev.=	5,1	3,3
κ=	25	25
θ=	1,02	0,66

Οι κατανομές πιθανότητας των R_1, R_2 και R_3 φαίνονται στα σχήματα που ακολουθούν.



Σχήμα 7-1: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των R_1 και R_2



Σχήμα 7-2: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π) του R_3

7.3.1 Συνολική (%) μείωση των θανάτων με τη χρήση των RCO₁ και RCO₂

Χρησιμοποιώντας τη σχέση :

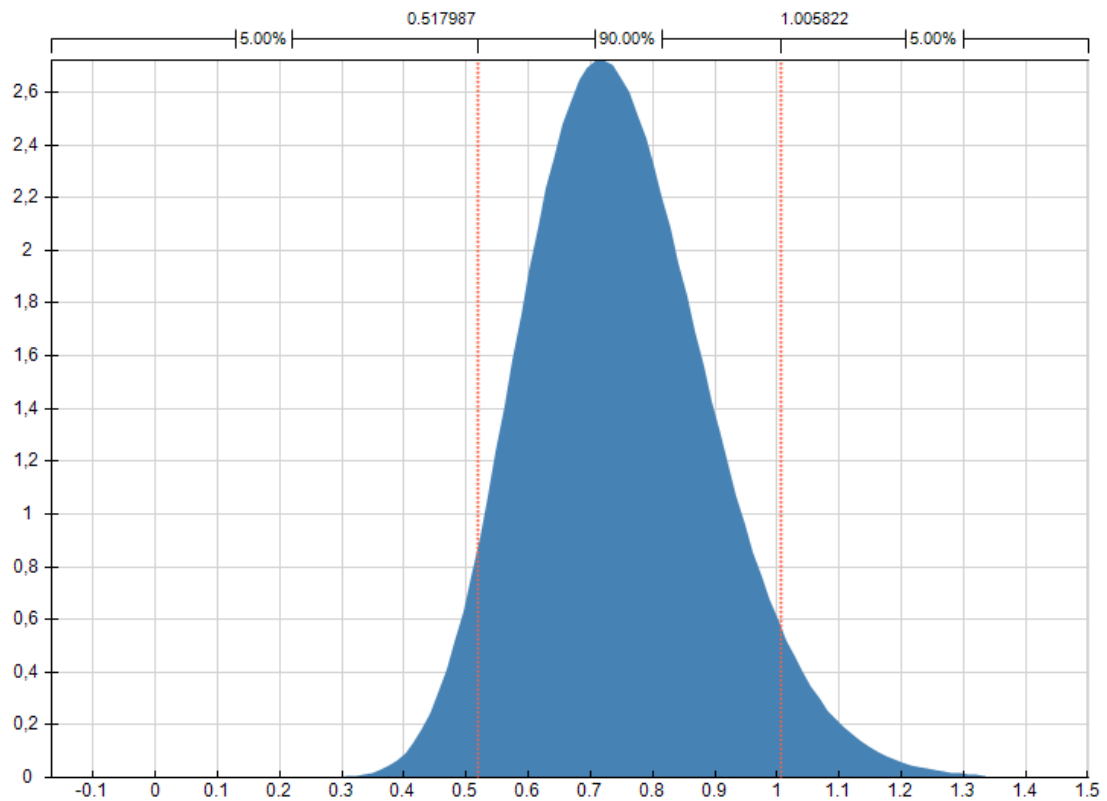
$$P(A | R_1, R_2) = \frac{P(A / R_1) \times P(A / R_2)}{P(A)} \quad (7.10)$$

Η **μεταβλητή A**, εκφράζει τον ποσοστιαίο αριθμό των θανάτων που πρόκειται να προκαλέσει ένα ατύχημα, οπότε η P(A) είναι σημειακή κατανομή με τιμή P(A)=1

Οι μεταβλητές δεσμευμένης εξάρτησης P(A/R₁) και P(A/R₂) εκφράζουν με την μορφή κατανομής την τον ποσοστιαίο εναπομείνοντα (Residual) αριθμό των θανάτων, εφόσον τα μέτρα RCO₁ και RCO₂ έχουν αντίστοιχα εφαρμοστεί. Οπότε με αυτό το δεδομένο, ο ποσοστιαίος εναπομείνοντας αριθμός θανάτων θα εκφράζεται από μια κατανομή γ με τα εξής χαρακτηριστικά:

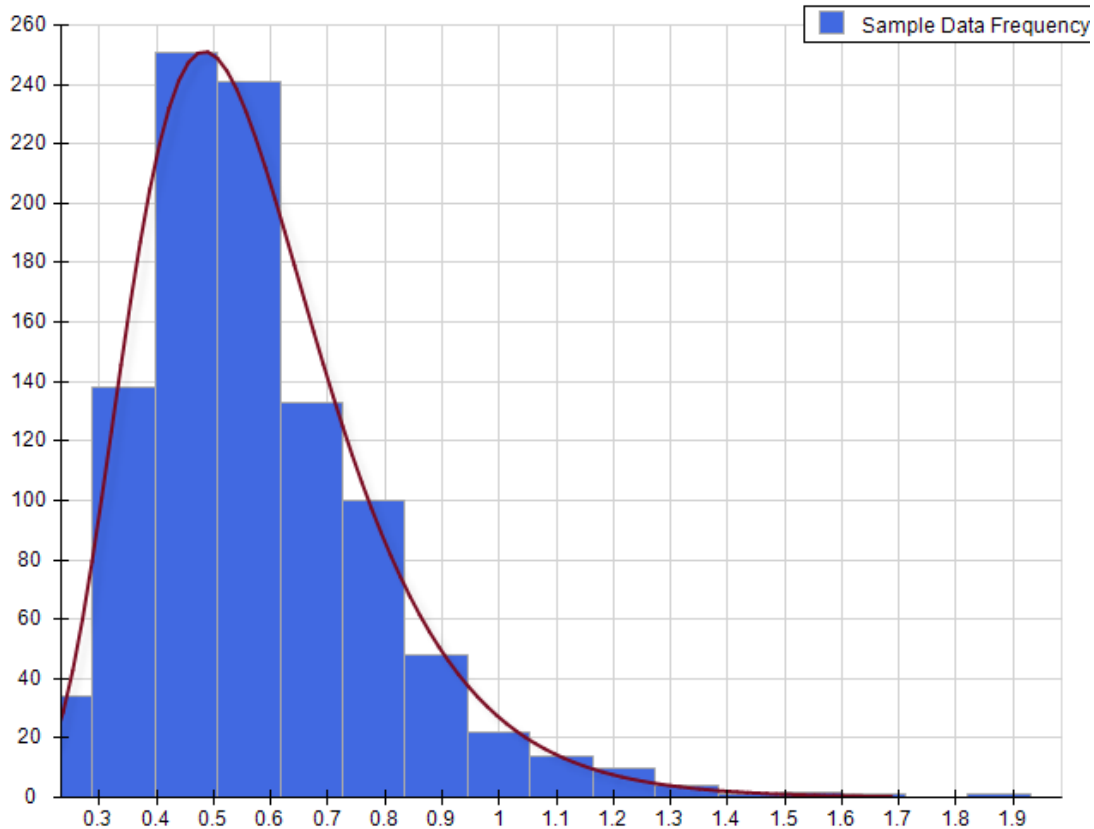
	P (A/R ₁), P(A/R ₂)
Mean=	0,745
St.dev.=	0,149
κ=	25
θ=	0,0298

ενώ η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητάς της φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



Σχήμα 7-3: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π) των $P(A/R_1)$, $P(A/R_2)$

Οπότε με τη βοήθεια της προσομοίωσης Monte Carlo για την πραγματοποίηση των πράξεων της σχέσης (7.10) καταλήγουμε στο αποτέλεσμα ότι η $P(A/R_1, R_2)$ ακολουθεί την κατανομή, της οποίας η σ.π.π. φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 7-4: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της $P(A/R_1, R_2)$

Χρησιμοποιώντας το εργαλείο DISTRIBUTION FITTING του risk solver που παρεμβάλλει βέλτιστα στο ιστόγραμμα μια κατανομή φτάνουμε στο συμπέρασμα ότι η τελική ποσοστιαία (%) μείωση των θανάτων ακολουθεί μια κατανομή που μπορεί να περιγραφεί από την κατανομή lognormal με τα παρακάτω στατιστικά στοιχεία:

LogNormal	
Fit Statistic	0.0229152522745714
Formula	=PsiLogNormal(0.577129427...
Shift	0
Minimum	0
Maximum	Infinity
Mean	0.577129427070135
Mode	0.483281519797301
Std.Dev.	0.204530834142687
Variance	0.0418328621151034
Skewnes	1.10768997566025
Kurtosis	5.25826026004815
Indep.Test	0.575603903361652

Οπότε η τελική μείωση είναι: $1-0,577=0,423$

Τελικά λοιπόν με την χρήση των RCO_1 και RCO_2 που το καθένα αν εφαρμοστεί μόνο του επιτυγχάνει αποτέλεσμα 25,5 % μείωσης του αριθμού των θανάτων από ατύχημα, η τελική μείωση που επιτυγχάνεται είναι 42,3%. Οπότε συμπεραίνουμε ότι το μοντέλο λαμβάνει υπόψη την αλληλεπίδραση μεταξύ των $RCOs$.

7.3.2 Συνολική (%) μείωση των θανάτων με τη χρήση των RCO_1 και RCO_3

Χρησιμοποιώντας τη σχέση :

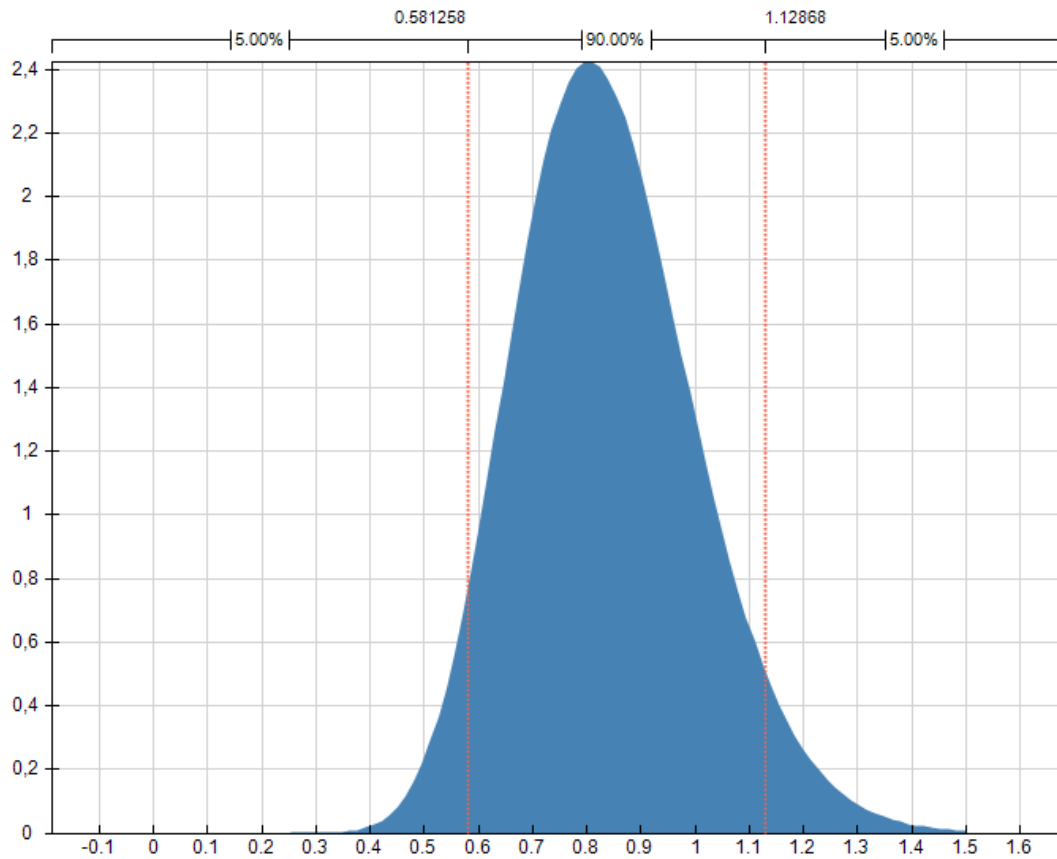
$$P(A | R_1, R_3) = \frac{P(A / R_1) \times P(A / R_3)}{P(A)} \quad (7.11)$$

όπου η κατανομή $P(A)$ έχει δηλωθεί παραπάνω

ενώ οι μεταβήτες δεσμευμένης εξάρτησης $P(A/R_1)$ και $P(A/R_3)$ εκφράζουν τον εναπομείοντα αριθμό των θανάτων αφού τα RCO_1 και RCO_3 έχουν αντίστοιχα εφαρμοστεί. Οπότε με αυτό το δεδομένο, ο ποσοστιαίος εναπομείοντας αριθμός θανάτων μετά την εφαρμογή του RCO_3 , εκφράζεται από μια **κατανομή-γ** με τα εξής χαρακτηριστικά:

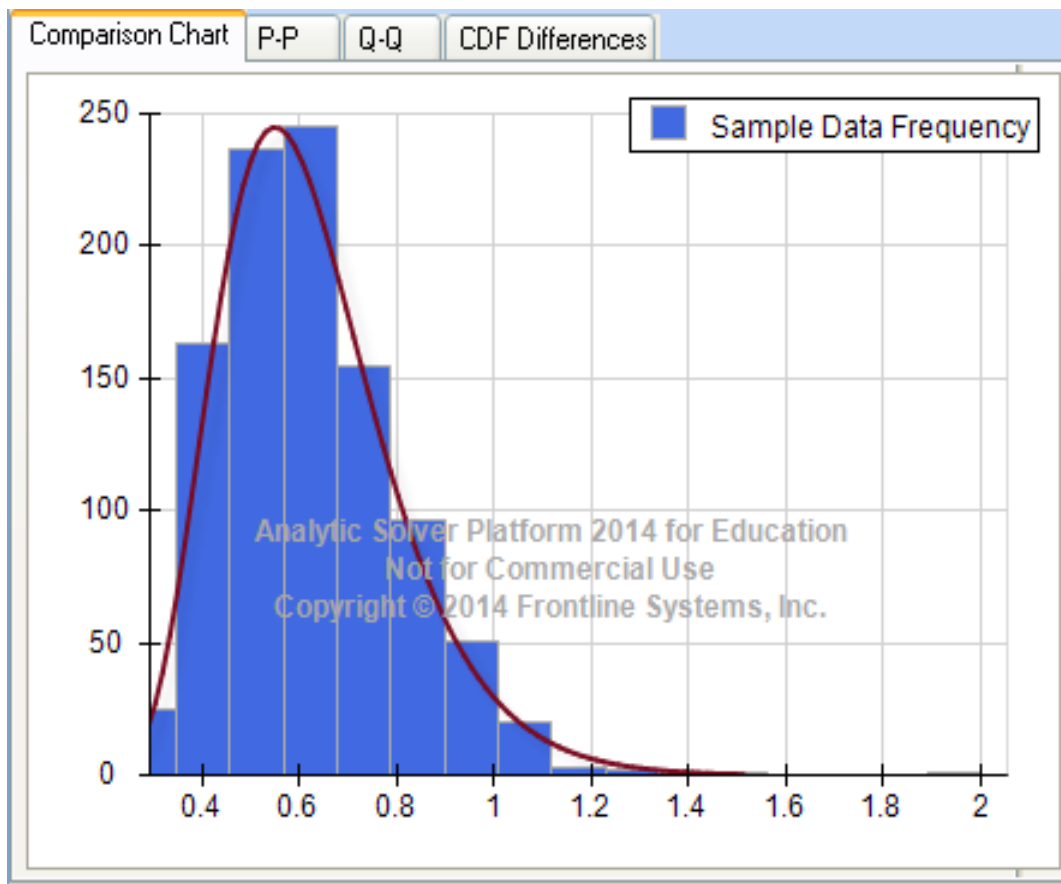
	P (A/R ₃)
Mean=	0,836
St.dev.=	0,167
κ=	25
θ=	0,0334

ενώ η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητάς της φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



Σχήμα 7-5: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της $P(A/R_3)$

Οπότε με τη βοήθεια της μεθόδου Monte Carlo για την πραγματοποίηση των πράξεων της σχέσης (7.11) καταλήγουμε στο αποτέλεσμα ότι η $P(A/R_3)$ ακολουθεί την κατανομή, της οποίας η σ.π.π. φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 7-6: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της $P(A/R_1, R_3)$

Και χρησιμοποιώντας το εργαλείο DISTRIBUTION FITTING του risk solver που παρεμβάλλει βέλτιστα στο ιστόγραμμα μια κατανομή φτάνουμε στο συμπέρασμα ότι η τελική ποσοστιαία μείωση των θανάτων ακολουθεί μια κατανομή που μπορεί να περιγραφεί από την κατανομή inverse gaussian με τα παρακάτω στατιστικά στοιχεία:

Inverse Gaussian	
Fit Statistic	0.228383740537197
Formula	=PsiInvNormal(0.62361...
Shift	0
Minimum	0
Maximum	Infinity
Mean	0.623613409148138
Mode	0.548415093841812
Std.Dev.	0.182774471933133
Variance	0.0334065075904357
Skewnes	0.879268161581733
Kurtosis	4.28852083328553
Indep.Test	0.60024556307778

Οπότε η τελική μείωση είναι : $1-0,624=0,376$

Τελικά λοιπόν με την χρήση των RCO_1 και RCO_3 που το καθένα αν εφαρμοστεί μόνο του επιτυγχάνει αντίστοιχα αποτέλεσμα 25,5 % και 16,4% μείωσης του αριθμού των θανάτων, η τελική μείωση που επιτυγχάνεται είναι 37,6%. Οπότε συμπεραίνουμε ότι το μοντέλο λαμβάνει υπόψη την αλληλεπίδραση μεταξύ των RCOs.

7.3.3 Συνολική (%) μείωση των θανάτων με τη ταυτόχρονη χρήση των RCO_1 , RCO_2 και RCO_3

Σε σχέση με τις προηγούμενες περιπτώσεις θα χρειαστεί να προσαρμόσουμε το θεώρημα του Bayes έχουμε,

$$P(A | R_A, R_B, R_\Gamma) = \frac{P(R_A, R_B, R_\Gamma / A) \times P(A)}{P(R_A, R_B, R_\Gamma)} \quad (7.12)$$

Με την προϋπόθεση ότι τα R_A , R_B και R_Γ είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους μεταβλητές, τότε είναι και υποσυνθήκη ανεξάρτητες δεδομένου του A, οπότε ισχύει :

$$P(R_A , R_B , R_\Gamma / A) = P(R_A / A) \times P(R_B / A) \times P(R_\Gamma / A)$$

Η εξίσωση (7.12) γράφεται λοιπόν:

$$P(A | R_A, R_B, R_\Gamma) = \frac{P(R_A / A) \times P(R_B / A) \times P(R_\Gamma / A) \times P(A)}{P(R_A, R_B, R_\Gamma)} \quad (7.13)$$

Χρησιμοποιώντας το θεώρημα του Bayes για να ξαναγράψουμε τα $P(R_A / A)$, $P(R_B / A)$ και $P(R_\Gamma / A)$ προκύπτει:

- $P(R_A | A) = \frac{P(A | R_A) \times P(R_A)}{P(A)}$,
- $P(R_B | A) = \frac{P(A | R_B) \times P(R_B)}{P(A)}$
- $P(R_\Gamma | A) = \frac{P(A | R_\Gamma) \times P(R_\Gamma)}{P(A)}$

Οπότε λοιπόν η εξίσωση (7.13) παίρνει τη μορφή

$$P(A | R_A, R_B) = \frac{P(A/R_A) \times P(A/R_B) \times P(R_A) \times P(R_B)}{P(A) \times P(R_A, R_B)} \quad (7.14)$$

και επειδή R_A , R_B και R_B είναι ανεξάρτητες μεταβλητές ισχύει η σχέση

$$P(R_A, R_B, R_\Gamma) = P(R_A) \times P(R_B) \times P(R_\Gamma)$$

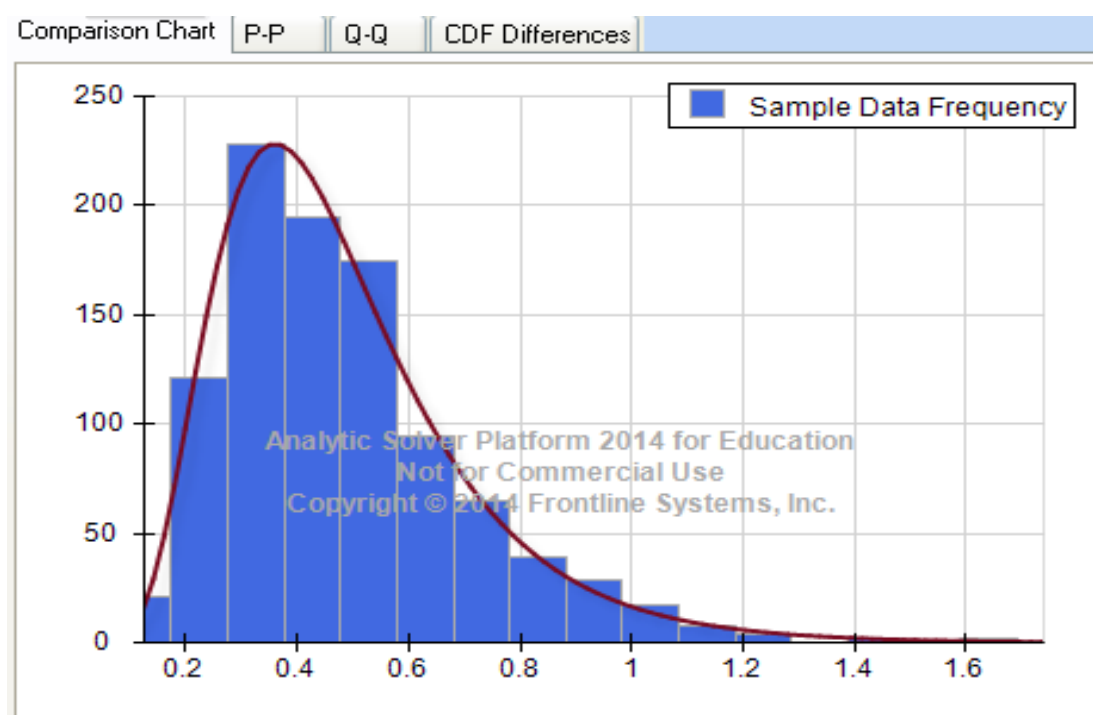
η τελική μορφή της εξίσωσης είναι:

$$P(A | R_A, R_B, R_\Gamma) = \frac{P(A/R_A) \times P(A/R_B) \times P(A/R_\Gamma)}{P(A)^2}$$

Αν στην παραπάνω σχέση θεωρήσουμε τα R_1 , R_2 και R_3 (όμοια με την 7.3) ενότητα αντί των R_A , R_B και R_Γ , θα πάρει τη μορφή:

$$P(A | R_1, R_2, R_3) = \frac{P(A/R_1) \times P(A/R_2) \times P(A/R_3)}{P(A)^2}$$

οπότε όλες οι επιμέρους κατανομές πιθανοτήτων έχουν οριστεί σε προηγούμενες ενότητες, οπότε με τη βοήθεια της μεθόδου Monte Carlo για την πραγματοποίηση των πράξεων της σχέσης (3.2) καταλήγουμε στο αποτέλεσμα ότι η $P(A/R_1, R_2, R_3)$ ακολουθεί την κατανομή, της οποίας η σ.π.π. φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



Σχήμα 7-7: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της $P(A/R_1, R_2, R_3)$

Και χρησιμοποιώντας το εργαλείο DISTRIBUTION FITTING του risk solver που παρεμβάλλει βέλτιστα στο ιστόγραμμα μια κατανομή φτάνουμε στο συμπέρασμα ότι η τελική % μείωση των θανάτων ακολουθεί μια κατανομή που μπορεί να περιγραφεί από την κατανομή inverse gaussian με τα παρακάτω στατιστικά στοιχεία:

LogNormal	
Fit Statistic	0.226619180396256
Formula	=PsiLogNormal(0.49313...
Shift	-0.01
Minimum	0
Maximum	Infinity
Mean	0.493132904077043
Mode	0.369444299540804
Std.Dev.	0.227215890504355
Variance	0.0516270608976871
Skewnes	1.48009905098552
Kurtosis	7.13230627206503
Indep.Test	0.540051700215524

Τελικά λοιπόν με την χρήση των RCO_1 , RCO_2 και RCO_3 , η τελική μείωση που επιτυγχάνεται είναι 51%. Οπότε συμπεραίνουμε ότι το μοντέλο, και στην ταυτόχρονη χρησιμοποίηση 3 RCOs λαμβάνει υπόψη την αλληλεπίδραση μεταξύ τους και η τελική μείωση είναι μικρότερη από την απλή άθροιση της μείωσης που επιφέρουν το καθένα ξεχωριστά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο:

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

8 Συγκεντρωτικά Συμπεράσματα

Στο σημείο αυτό θα παρουσιάσουμε τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή των διαφορετικών μεθόδων για τον υπολογισμό της αποτελεσματικότητας του συνδυασμού των Μέτρων Καταστολής του Ρίσκου.

Όσον αφορά στην μεθοδολογία όπου η αποτελεσματικότητα τόσο των μεμονομένων RCO όσο και συνδυασμών τους υπολογίζονται με τη βοήθεια των δεντροδιαγραμμάτων, ουσιαστικά αρκεί απλά να δείξουμε πως μεταβάλλονται οι πιθανότητες να εκδηλωθούν σενάρια και εναλλακτικές (κλάδοι των δεντροδιαγραμμάτων), των οποίων γενεσιουργός αιτία είναι ένα ατύχημα. Έτσι μπορεί για να υπολογιστεί το πόσο τελικά θα μειωθούν οι αναμενόμενοι θάνατοι με την εφαρμογή ενός RCO. Το πρόβλημα είναι ότι οι επιμέρους τροποποιήσεις στη διάρθρωση των δεντροδιαγραμμάτων, πρέπει να λαμβάνει να λαμβάνουν υπόψη τη γνώμη κάποιων ειδικών σε συνδυασμό με ιστορική ανάλυση δεδωμένων από προηγούμενες περιπτώσεις εφαρμογής αντιστοίχων RCO, κάτι που καθιστά την ίδια την αποδοτικότητα του συνδυασμού RCO αρκετά ευαίσθητη στην υποκειμενική κρίση της ομάδας των ειδικών που λαμβάνουν απόφαση. Σίγουρα πάντως η μεθοδολογία αυτή αποτελεί ένα εύχρηστο και αρκετά καλό εργαλείο στο βαθμό που η διάρθρωση του δεντρογράμματος για συγκεκριμένους τύπους ατυχημάτων είναι εξ αρχής γνωστή, δυνατότητα που οι περισσότερες FSA το παρέχουν.

Η μέθοδος όπου αντιστοιχήσαμε τα χαρτοφυλάκια χρεογράφων με χαρτοφυλάκια μέτρων καταστολής του ρίσκου, ουσιαστικά καταλήγει σε αποτελέσματα όπου η τελική αποτελεσματικότητα συνδυασμού δύο ή τριών RCO που μελετήθηκαν, θα είναι σε κάθε περίπτωση και σε οποιαδήποτε κατανομή των βαρών των επιμέρους μέτρων στα χαρτοφυλάκια, μικρότερη της αποτελεσματικότητας που το μεγαλύτερο RCO θα επιτύχανε, αν εφαρμοζόταν μεμονομένα για να μειωθεί ο κίνδυνος θανατηφόρων ατυχημάτων. Αυτή η παρατήρηση έχει εξήγηση αν ανατρέξουμε στην θεωρία του Χαρτοφυλακίου.

Δημιουργώντας χαρτοφυλάκια χρεογράφων ένας επενδυτής επί της ουσίας προσπαθεί να μοιράσει τον κίνδυνο (ρίσκο) αποτυχίας, ή αλλιώς της απόκλισης από την αναμενόμενη απόδοση. Έτσι ενώ η απόδοση των χαρτοφυλακίων θα είναι σίγουρα μικρότερη από την μεγαλύτερη τιμή ενός χρεόγραφου, ο κίνδυνος-απόκλιση από την απόδοση αυτή θα είναι μικρότερη από την μικρότερη τιμή της απόκλισης των επιμέρους χρεογράφων ξεχωριστά. Αυτό είναι επί της ουσίας και το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής, ότι δηλαδή είμαστε σε θέση να εκτιμήσουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια την απόδοση που θα έχει το χαρτοφυλακίο.

Η μεθοδολογίες που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής του Νορβηγού, έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να επεκταθεί και για περισσότερα από δύο ή τρία μέτρα καταστολής του ρίσκου. Προκύπτει ότι η απόκλιση των αποτελεσμάτων των μεθοδολογιών σε σχέση με το απλό άθροισμα της μείωσης των θανάτων, είναι της τάξεως 20% στην περίπτωση της εφαρμογής 4 RCO. Αυτό είναι απολύτως λογικό, στο βαθμό που οι μεθοδολογίες λαμβάνουν υπόψη τους την αλληλεπίδραση που προκύπτει από την διαδοχική εγκατάσταση των RCO και πιο συγκεκριμένα την μείωση που έχει ήδη επιτευχθεί από τα προηγούμενα RCO.

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε εισάγοντας την έννοια των συζεύξεων αποτελεί μια εύχρηστη μεθοδολογία για τον υπολογισμό της αποδοτικότητας του συνδυασμού των RCO καθώς το μοντελο και η παράμετρος α , έχει εξ αρχής σχεδιαστεί για να λαμβάνει υπόψη την αλληλεπίδραση που θα έχει η εφαρμογή 2 ή περισσότερων RCO, δηλαδή θα καταλήγει σε απόδοση που θα είναι μικρότερη του απλού αθροίσματος των μεμονομένων RCO. Αν και η μέθοδος αυτή καταλήγει σε ικανοποιητικά αποτελέσματα στην περίπτωση που υπάρχει αναγκαιότητα να εφαρμοστούν δύο Μέτρα ελέγχου του ρίσκου, δεν προβλέπει τη διαδικασία υπολογισμού της αποτελεσματικότητας 3 ή περισσότερων RCO, επειδή τα μοντέλα των συζεύξεων που μελετήθηκαν στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής συνδυάζουν 2 μονοδιάστατες κατανομές πιθανοτήτων (κάθε μια από τις οποίες εκφράζει την κατανομή της απόδοσης των ξεχωριστών RCO). Ένας τρόπος υπέρβασης αυτής της αδυναμίας θα ήταν να θεωρήσουμε την κατανομή που προκύπτει από τον συνδυασμό 2 RCO σαν μία κατανομή που θα εισαχθεί μαζί με την κατανομή της απόδοσης του 3ου RCO και να ακολουθήσουμε την ίδια διαδικασία σαν να επρόκειτο για συνδυασμό δύο RCO. Αυτή η διαδικασία θα έδινε αποτελέσματα αν τα επιμέρους RCO είχαν απόδοση που δεν υπερέβαινε το 30%, καθώς το μοντέλο έχει εξ αρχής αναπτυχθεί, λαμβάνοντας υπόψη και τις αποδόσεις των RCO από τις επιμέρους FSA για εύρος μείωσης του κινδύνου εκδήλωσης θανάτων από ατυχήματα, από 2-30%.

Τέλος η μέθοδος που λαμβάνει υπόψη τις έννοιες των δεσμευμένων πιθανοτήτων και του θεωρήματος του Bayes, καταλήγει σε μια εξίσωση όπου μοντελοποιώντας τις αποδόσεις των RCO σε κατανομές πιθανοτήτων, καταλήγουμε σε μια τελική κατανομή, η μέση τιμή της οποίας μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αντικατοπτρίζει την τελική μείωση που έχει επιτευχθεί, όσον αφορά στους αναμενόμενους θάνατους από θαλάσσια ατυχήματα. Η μέθοδος αυτή μπορεί να υπολογίσει την αποδοτικότητα συνδυασμού 2 ή και 3 RCO, πραγματοποιώντας απλά μια Monte Carlo προσομοίωση.

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα τα που προκύπτουν από την εφαρμογή των μεθοδολογιών και πέρνοντας σαν Μέτρα καταστολήστου ρίσκου στα πλαίσια αυτής της εργασίας τα :

- RCO₁: Η αύξηση του μετακεντρικού ύψους κατά 0,5m
- RCO₂: Η αύξηση του ύψους εξάλων κατά 0,5m
- RCO₃: Η προσθήκη εφεδρικής Πλευστότητας στο κατάστρωνα Στεγανών

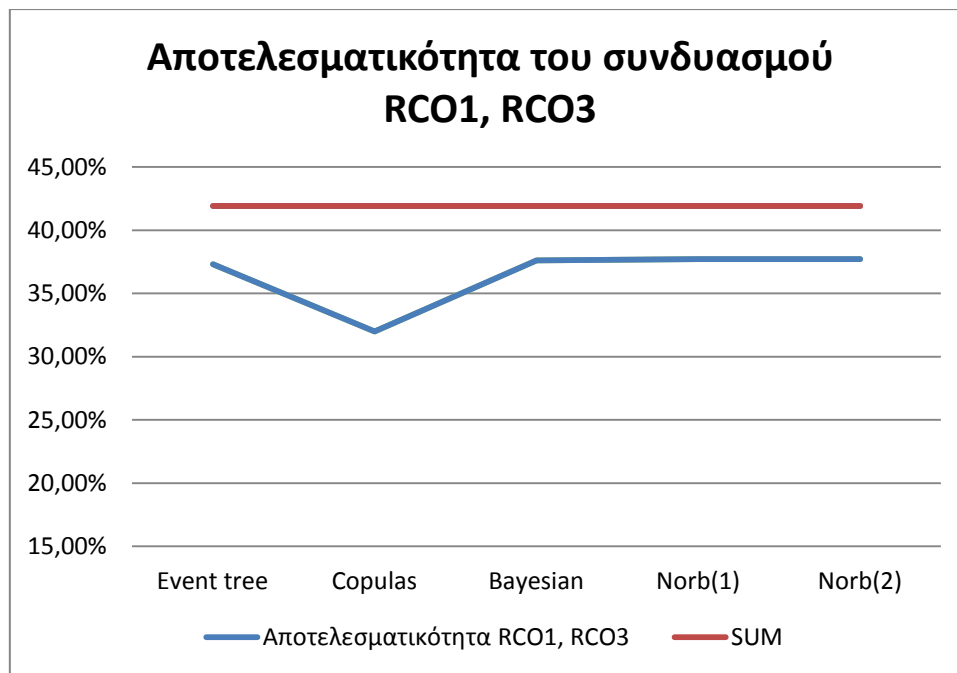
Πίνακας 8-1: Αποτελεσματικότητα των RCO

	θάνατοι που αποτράπηκαν	Αποτελεσματικότητα Των RCO
RCO ₁	2,1	25,50%
RCO ₂	2,1	25,50%
RCO ₃	1,35	16,40%

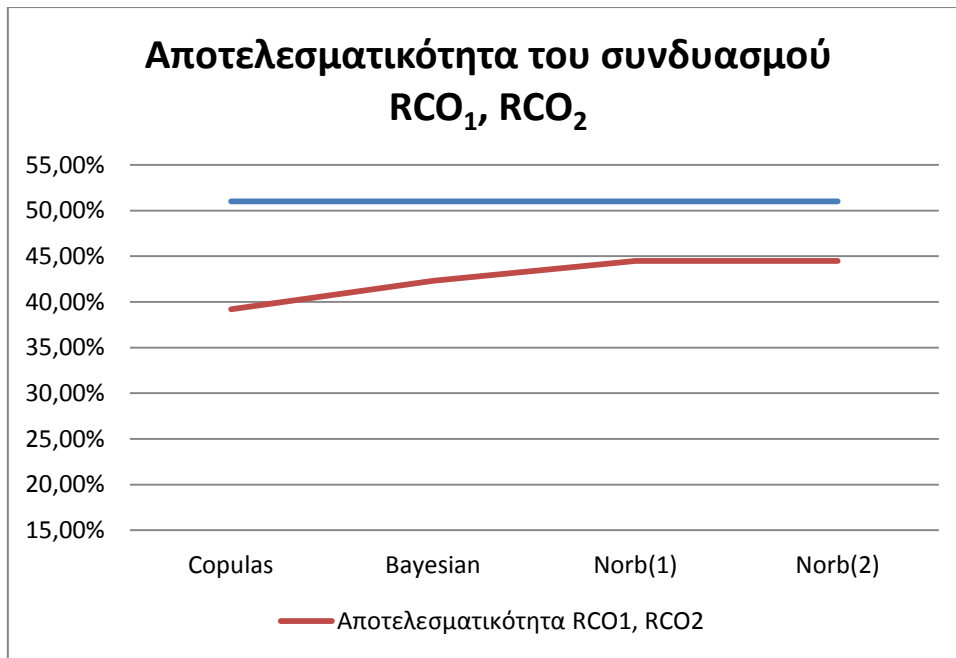
Πίνακας 8-2: Συγκεντρωτικά η αποτελεσματικότητα των συνδυασμών των RCO που μελετήθηκαν, για τις διάφορες μεθόδου

Μέθοδοι	RCO που χρησιμοποιήθηκαν		
	RCO1, RCO3	RCO1, RCO2	RCO1,RCO2,RCO3
SUM	41,90%	51,00%	67,40%
Event tree	37,30%	-	48,50%

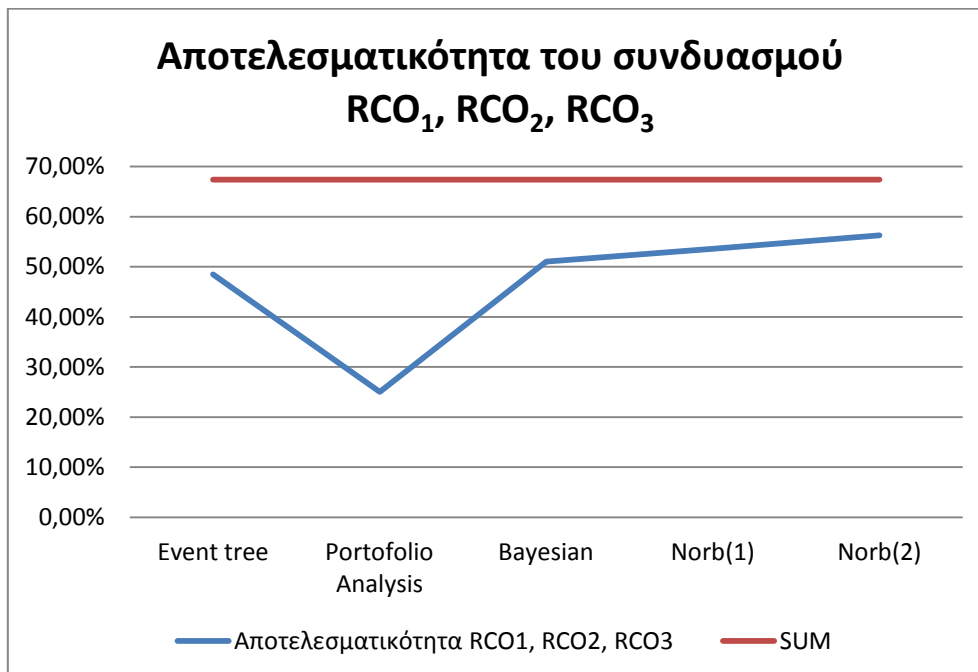
Copulas	32%	39,20%	-
Bayesian	37,60%	42,30%	51%
5.1	37,72%	44,50%	53,60%
5.2	37,72%	44,50%	56,29%
max	37,72%	44,50%	56,29%



Σχήμα 8-1: Συγκρητική απεικόνιση της αποτελεσματικότητας του συνδυασμού των RCO₁ και RCO₃ για τις διάφορες μεθοδολογίες



Σχήμα 8-2: Συγκρητική απεικόνιση της αποτελεσματικότητας του συνδυασμού των RCO_1 και RCO_2 για τις διάφορες μεθοδολογίες



Σχήμα 8-3: Συγκρητική απεικόνιση της αποτελεσματικότητας του συνδυασμού των RCO_1 , RCO_2 και RCO_3 για τις διάφορες μεθοδολογίες

Από την παράθεση των συγκριτικών αποτελεσμάτων φαίνεται ότι όλες οι μέθοδοι που διερευνήθηκαν, με τις ιδιαιτερότητες και τους περιορισμούς που εμφανίζουν και αναλύθηκαν στα πλαίσια της παρούσας ενότητας, εμφανίζουν αποτελέσματα που είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους. Επιπλέον, από τους αριθμητικούς υπολογισμούς για την κατηγορία των κρουαζιερόπλοιων, οι συνδυασμοί των RCO που μελετήθηκαν λαμβάνουν υπόψη την αλληλεπίδραση που έχουν τα επιμέρους RCO μεταξύ τους, κάτι που φαίνεται από το γεγονός ότι καταλήγουν σε αποτελέσματα με μικρότερη αποτελεσματικότητα σχετικά με την απλή άθροιση της απόδοσης δύο ή περισσότερων μέτρων.

Βιβλιογραφία

1. International Maritime Organization (IMO), MSC/Circ.1023, 2002, Guidelines for Formal Safety Assessment for use in the IMO rule-making process
2. International Maritime Organization (IMO), MSC 83/INF.2, 2007, Formal Safety Assessment
3. International Maritime Organization (IMO), MEPC 58/INF.2, 2008, Formal Safety Assessment-Crude Oil Tankers
4. International Maritime Organization (IMO), MSC 85/INF.2, 2008, Formal Safety Assessment - Cruise Ships
5. International Maritime Organization (IMO), MSC 85/INF.3, 2008, Formal Safety Assessment - RoPax Ships
6. International Maritime Organization (IMO), MSC 83/INF.3, 2007, Formal Safety Assessment - LNG Carriers
7. International Maritime Organization (IMO), MSC 83/INF.8, 2007, Formal Safety Assessment - Container Vessels
8. International Maritime Organization (IMO), MSC.194(80), 2005
9. International Maritime Organization (IMO), MEPC 63-INF.7, 2011, GHG Emission- Mitigation Measures for Oil Tankers
10. Konovessis D., 2012, An investigation on cost-effective tanker design configurations for reduced oil outflow, Elsevier Ltd.
11. Hamann R., Loer K., "Risk-based Optimization of Crude oil Tankers Cargo Holds"
12. Kontovas C. A., Ventikos N.P. & Psaraftis H.N., 2011, "Estimating the Consequence Costs of Oil Spills from Tankers", SNAME annual meeting 2011
13. Kontovas C. A., Ventikos N.P. & Psaraftis H.N., 2010. "An empirical analysis of IOPCF oil spill cost data", Elsevier Ltd.
14. Kontovas C. A., Ventikos N.P. & Psaraftis H.N., 2011, An Updated Analysis of IOPCF Oil Spill Data: Estimation of the Disutility Cost of Tanker Oil Spills, Proceedings of IMAM 2011
15. Wang Y., Xie M., Chin K.S., Fu X.J., 2012, Accident Analysis Model Based on Bayesian Network and Evidential Reasoning Approach, Journal of Loss Prevention in the Process Industries
16. Herrala R., Goel R, 2012, "Global CO2 efficiency: Country-wise estimates using a stochastic cost frontier", Elsevier Ltd.

17. Kjolle G.H., Utne I.B., Gjerde O., 2012, " Risk analysis of critical infrastructures emphasizing electricity supply and interdependencies", Reliability Engineering and System Safety
18. Konno H., Yamazaki H. "Mean-Absolute Deviation Portfolio Optimization Model and Its Applications to Tokyo Stock Market," Management Science, vol. 37, no. 5, pp. 519-531, May 1991.
19. O'Sullivan, Arthur; Steven M. Sheffrin, 2003 , " Economics: Principles in action" , Upper Saddle River, p.273
20. Saaty L, 1980, "The Analytic Hierarchy Process", McGraw Hill International.
21. Saaty L., Forman E.H.,1992, "The Hierarchon: A dictionary of Hierarchies", Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications
22. Saaty L.,1999, "Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World", Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications.
23. BALLAND, O., ERIKSTAD, S. O., AND FAGERHOLT, K., 2012, "Optimized selection of air emission controls for vessels", Maritime Policy & Management, 39(4), 387-400.
24. BALLAND, O., ERIKSTAD, S. O., AND FAGERHOLT.K, Wallace W., 2013, "Planning vessels air emission regulations compliance under uncertainty". Journal of Marine Science and Technology
25. Zhou Q., Lambert J., Karvetski C., Keisler J., Linkov I., 2012, "Flood Protection Diversification to Reduce Probabilities of Extreme Losses", Risk Analysis Vol.32
26. Luenberger DG, 1998, "Investment Science", Oxford University Press
27. Δεσπότης Δ, 2002, Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων, Πανεπιστήμιο Πειραιά
28. Κοκολάκης Γ., Σπηλιώτης Ι., 2002, "Εισαγωγή στις Πιθανότητες"
29. Χρήστου Γ., 2004, "Εισαγωγή στην Οικονομετρία"
30. Andrei Shleifer, 2000, "Inefficient Markets: An Introduction to Behavioral Finance", Clarendon Lectures in Economics "
31. Markowitz, H.M. ,1952, "Portfolio Selection", The Journal of Finance
32. Awerbuch S., Berger M., 2003, "Applying Portfolio Theory to EU Electricity Planning and Policy-Making, IEA/EET Working Paper
33. Greyserman A., Jones D., Strawderman W., 2006, "Portfolio selection using hierarchical Bayesian analysis and MCMC methods", Journal of Banking and Finance

34. Rosqvist T., Molarius R., Virta H. and Perrels A., "Event Tree Analysis for flood protection – an exploratory study in Finland", Reliability Engineering and System Safety,
35. Andrews J. D., Dunnett and S. J., 2000, "Event Tree Analysis Using Binary Decision Diagrams", IEEE Trans. Reliability, 49(2):230–238
36. Skjong, R., Vanem E., 2004, "Collision and grounding of passenger ships – risk assessment and emergency situations", Proceedings of the 3rd International Conference on Collision and Grounding of Ships
37. Nyvlt O., Rausand M., 2012, "Dependencies in event trees analyzed by Petri nets", Reliability Engineering and System Safety
38. Bailer-Jones C.A.L., 2010, "Probabilistic combination of AP estimates based on spectra, astrometry and the HR Diagram with the aim of reducing degeneracy", GAIA-C8-TN-MPIA-CBJ-049
39. Bailer-Jones C.A.L, Kester Smith, 2011, "Combining Probabilities", Max Planck Institute for Astronomy, Heidelberg
40. Xiaomo Jiang, Yong Yuan, Xian Liu, 2012, "Bayesian Inference Method for Stochastic Damage", Reliability Engineering and System Safety

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης A (Attained Index A)

Πρέπει ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης A (attained index A) να μην είναι μικρότερος από τον απαιτούμενο δείκτη υποδιαίρεσης R (required subdivision index R). Ο απαιτούμενος δείκτης υπ

Οι κανόνες για τον υπολογισμό του επιτευχθέντος δείκτη υποδιαίρεσης αποτελεί μια απλουστευμένη μέθοδο υπολογισμού της πιθανότητας διάσωσης του πλοίου μετά από βλάβη. Γενικά ο δείκτης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$A = \sum p_i s_i$$

i: αναπαριστά το κάθε διαμέρισμα

p_i: αντιστοιχεί στην πιθανότητα να κατακλυσθεί λόγω βλάβης ένα διαμέρισμα. Ειδικότερα αναπαριστά την πιθανότητα να συμβεί βλάβη σε ένα διαμέρισμα που βρίσκεται στη θέση α κατά μήκος του πλοίου.

Λογαριασμοί για την πιθανότητα επιβίωσης μετά την κατάκλυση και το διαμέρισμα ή ομάδα διαμερισμάτων υπό εξέταση. συμπεριλαμβανομένων των επιπτώσεων κάθε οριζόντια υποδιαίρεση, s_i εξαρτάται από το σχέδιο και περιλαμβάνει τον παράγοντα ν και είναι ένας σταθμισμένος μέσος όρος των s-παράγοντες που υπολογίζεται σε σχέδια d_l και δ

s_i: αντιστοιχεί στην ολική πιθανότητα να επιβιώσει το πλοίο μετά από κατάκλυση ενός διαμερίσματος ή συνδυασμού παρακείμενων διαμερισμάτων, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση οποιασδήποτε οριζόντιας υποδιαίρεσης. Η παράμετρος s_i εξαρτάται από το βύθισμα του πλοίου.

Υπολογισμός του συντελεστή p_i

x₁ Η απόσταση του πρυμναίου εγκάρσιου διαφράγματος του εξεταζόμενου διαμερίσματος από το πρυμναίο άκρο του πλοίου (πρυμναίο σημείο ορισμού του L_s)

x_2 Η απόσταση του πρωραίου εγκάρσιου διαφράγματος του εξεταζόμενου διαμερίσματος από το πρυμναίο άκρο του πλοίου (πρυμναίο σημείο ορισμού του L_s)

$$E_1 = \frac{X_1}{L_s}$$

$$E_2 = \frac{X_2}{L_s}$$

$$E = E_1 + E_2 - 1$$

$$J = E_2 - E_1$$

$$J' = J - E, E \geq 0$$

$$J' = J + E, E < 0$$

Το μέγιστο αδιάστατο μήκος της βλάβης, J_{max} , ορίζεται από την παρακάτω σχέση, αλλά δεν πρέπει να ξεπερνά την τιμή 0,24

$$J_{max} = \frac{48}{L_s}$$

Η υποτιθέμενη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της θέσης της βλάβης κατά μήκος του πλοίου, a , ορίζεται από την παρακάτω σχέση αλλά δεν πρέπει να ξεπερνά την τιμή 1,2

$$a = 1,2 + 0,8 E$$

Η υποτιθέμενη συνάρτηση κατανομής της θέσης της βλάβης κατά μήκος του πλοίου ορίζεται ως:

$$F = 0,4 + 0,25E(1,2 + a)$$

$$\gamma = \frac{J}{J_{max}}$$

$$p = F_1 J_{max}$$

$$q = 0,4 F_2 (J_{max})^2$$

Ο συντελεστής p_i προσδιορίζεται για καθένα διαμέρισμα χωριστά ανάλογα με την θέση του,

α) όταν το διαμέρισμα θεωρείται ότι εκτείνεται σε ολόκληρο το μήκος του πλοίου L_s τότε:

$$p_i = 1$$

β) όταν το πρυμναίο άκρο του διαμερίσματος ταυτίζεται με το πρυμναίο άκρο του πλοίου τότε:

$$p_i = F + 0,5 a p + q$$

γ) όταν το πρωραίο άκρο του διαμερίσματος ταυτίζεται με το πρωραίο άκρο του πλοίου τότε:

$$p_i = F + 0,5 a p + q$$

δ) όταν και τα 2 άκρα του διαμερίσματος θεωρούνται εντός του πρυμναίου και του πρωραίου άκρου του πλοίου τότε:

$$\rho_i = a\rho$$

Στην περίπτωση

Υπολογισμός του συντελεστή S_i

Ο υπολογισμός του συντελεστή s_i για ένα διαμέρισμα σε οποιαδήποτε αρχική κατάσταση φόρτωσης, γίνεται με βάση την παρακάτω σχέση:

$$s = C\sqrt{0,5GZ_{\max \text{ range}}}$$

όπου: $C=1$, εάν $\theta_e \leq 25^\circ$

$C=0$, εάν $\theta_e \geq 30^\circ$

$$C = \sqrt{\frac{30 - \theta_e}{5}}, \text{ για οποιαδήποτε άλλη τιμή του } \theta_e$$

GZ_{\max} = Η μέγιστη θετική τιμή του μοχλοβραχίονα επαναφοράς εντός της περιοχής, όπως περιγράφεται παρακάτω, αλλά όχι μεγαλύτερη από 0,1m

περιοχή (range)= εύρος περιοχής τελικής ευστάθειας πέραν της γωνίας ισορροπίας αλλά όχι μεγαλύτερη από 20°.

θ_e = Η τελική γωνία εγκάρσιας κλίσης

$s=0$ όταν στην τελική ίσαλο ισορροπίας μετά την βλάβη, οποιοδήποτε άνοιγμα (πχ εξαιρεστικά δεξαμενών) βρίσκεται κάτω από το νερό και οδηγεί σε προοδευτική κατάκλυση του διαμερίσματος που είναι συνδεδεμένο. Σε αυτή την περίπτωση οι αντίστοιχες καταστάσεις βλάβης μπορούν να επανεξεταστούν λαμβάνοντας υπόψη και την προοδευτική κατάκλυση των διαμερισμάτων λόγω βύθισης των ανοιγμάτων ακι ίσως να έχουν θετική συνεισφορά στο τελικό αποτέλεσμα.

Ο τελικός συντελεστής s_i για την ανώτατη και κατώτατη ίσαλο υποδιαίρεσης προκύπτει σαν μέσος όρος των 2 αυτών τιμών, δηλαδή ισχύει:

$$s_i = 0,5s_1 + 0,5s_p$$

όπου s_i και s_p ο συντελεστής στην ανώτατη και κατώτατη ίσαλο υποδιαίρεσης αντίστοιχα.

Στην περίπτωση που υπάρχει οριζόντια υποδιαίρεση πάνω από την εξεταζόμενη ίσαλο φόρτωσης, η τιμή του s για τα διαμερίσματα που βρίσκονται κάτω από αυτή την υποδιαίρεση θα πρέπει να πολλαπλασιάζονται με τον δείκτη v , δηλαδή την πιθανότητα μη κατάκλυσης των διαμερισμάτων που βρίσκονται πάνω από την οριζόντια υποδιαίρεση.

Ο συντελεστής v υπολογίζεται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$V_i = \frac{H-d}{H_{max}-d}$, για υποτιθέμενη κατάκλυση πάνω από την οριζόντια υποδιαίρεση που βρίσκεται πάνω από την εξεταζόμενη ίσαλο, όπου το ύψος H δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από το H_{max} ,

$v_i = 1$ όταν η οριζόντια υποδιαίρεση στην υποτιθέμενη κατάσταση βλάβης είναι κάτω από το ύψος H_{max}

H = το πλευρικό ύψος της οριζόντιας στεγανής υποδιαίρεσης μετρούμενο από την βασική γραμμή αναφοράς

H_{max} = η μέγιστη πιθανή κατακόρυφη έκταση της βλάβης μετρούμενη από την βασική γραμμή αναφοράς

$H_{max} = d + 7$, όταν $L_s > 250$ m

$H_{max} = d + 0,056L_s \left(1 - \frac{L_s}{500}\right)$, όταν $L_s \leq 250$ m

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Μετασχηματισμός BOX-COX

Οι Box και Cox το 1964 πρότειναν έναν παραμετρικό μετασχηματισμό δύναμης ώστε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της μη-κανονικότητας όσον αφορά την κατανομή δεδομένων. Αν Y_1, \dots, Y_n , είναι οι n το πλήθος διαθέσιμες δειγματικές τιμές της υπό μελέτη μεταβλητής, οι οποίες αποκλίνουν από την κανονικότητα ο Box-Cox μετασχηματισμός λαμβάνει την μορφή των παρακάτω εξισώσεων

$$y_i^\lambda = \frac{y_i^\lambda - 1}{\lambda}, \quad \text{για } \lambda \neq 0 \text{ και}$$

(1)

$$y_i^\lambda = \log y_i, \text{ για } \lambda = 0$$

επειδή ο μετασχηματισμός εφαρμόζεται μόνο όταν οι τιμές Y_i είναι θετικές οι Box και Cox πρότειναν ο μετασχηματισμός (1) να πάρει τη μορφή,

$$y_i^\lambda = \frac{(y_i + \kappa)^\lambda - 1}{\lambda}, \quad \text{για } \lambda \neq 0 \text{ και}$$

(2)

$$y_i^\lambda = \log(y_i + \kappa), \text{ για } \lambda = 0$$

όπου λ είναι η παράμετρος μετασχηματισμού και η τιμή κ διαλέγεται ώστε $Y_i > \kappa$

Ουσιαστικά η διαδικασία που ανέπτυξαν, σχετίζεται με τον προσδιορισμό της κατάλληλης παραμέτρου λάμδα (λ) ώστε τα δεδομένα να μετατραπούν σε μια κατανομή που να προσεγγίζει σε ικανοποιητικό βαθμό την κανονική.

Ένα υπολογιστικό εργαλείο που μας επιτρέπει να υπολογίζουμε την κατάλληλη τιμή της παραμέτρου λ είναι το λογισμικό MINITAB. Το λογισμικό αυτό αναζητά την τιμή λάμδα (λ), ανάμεσα στις τιμές -5 και 5 ($-5 < \lambda < 5$), που μετασχηματίζει τα αρχικά δεδομένα, χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση W_i . Στη συνέχεια

υπολογίζει την τυπική απόκλιση της μεταβλητής W_i με τελικό στόχο να βρεί την τιμή του λ που ελαχιστοποιεί την τυπική απόκλιση του W_i .

$$W_i = \frac{(Y_i^\lambda - 1)}{\lambda G^{\lambda-1}}, \quad \text{για } \lambda \neq 0$$

(3)

$$W_i = G \ln(Y_i), \quad \text{για } \lambda = 0$$