



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**



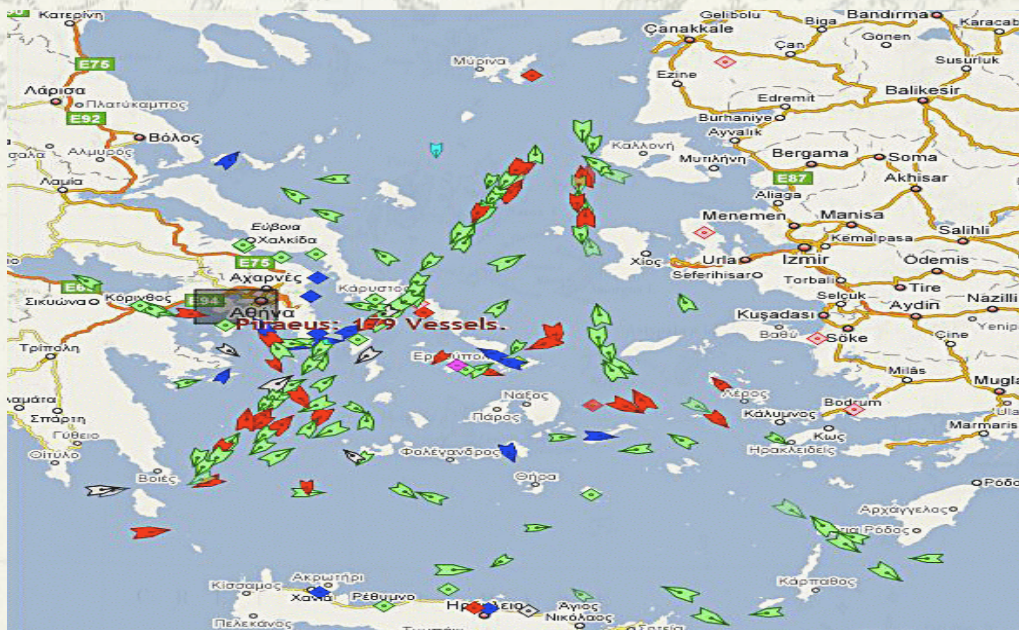
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

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

**«ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΝΑΥΣΙΠΛΟΪΑΣ  
ΣΤΟ ΑΙΓΑΙΟ ΠΕΛΑΓΟΣ»**



Ανδρέας Ανδριτσόπουλος

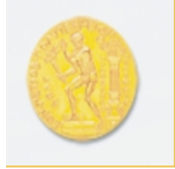
Αθήνα, Ιούνιος 2011

GRECIAN ARCHIPELAGO

(ANCIENT)  
By  
WILLIAM SMITH, G.L.D.

Published under the Superintendance of the Geographical Office for the  
Diffusion of Useful Knowledge.  
P. Blot, Rue de Valenciennes, 10, Paris, France.  
P. Blot, Editeur, 15, Boulevard des Capucines, Paris, France.





## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

«... πάντα δοκιμάζετε, το Καλόν κατέχετε»  
(... αλλά να εξετάζετε όλα και να κρατάτε ό,τι είναι χρήσιμο)

<b>Περίληψη</b> .....	<b>7</b>
<b>Εισαγωγή</b> .....	<b>10</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΕΝΝΟΙΩΝ ΠΟΥ ΘΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΟΥΜΕ</b> .....	<b>15</b>
1.1 Η βάση της επιλογής της Κινητικής Ενέργειας .....	15
1.2 Βιβλιογραφική Επισκόπηση.....	17
1.3 Κάποια οπτικά παραδείγματα εφαρμογής της παραπάνω θεωρίας της ΚΕ και της επίδρασης αυτής (ΚΕ) στο μέγεθος των υλικών ζημιών του εμπλεκόμενου σε ατύχημα πλοίου .....	18
1.4 Κατανομή Poisson .....	22
1.5 Στοχαστική διαδικασία Poisson .....	23
1.6 Τυχαίες Μεταβλητές .....	24
1.7 Εισαγωγή στη σεισμολογία .....	24
1.7.1 Μοντέλα Σεισμολογίας .....	24
1.7.2 Μέτρα σεισμικότητας.....	32
1.7.3 Η Επιλογή του μοντέλου σεισμολογίας .....	33
1.8 Λογιστική Παλινδρόμηση .....	24
1.8.1 Εισαγωγή στη Λογιστική Παλινδρόμηση.....	34
1.8.2 Τα μειονεκτήματα της λογιστικής παλινδρόμησης και η ακαταλληλότητα της στην περιπτωσή μας .....	36
<b>ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΑΙΓΑΙΟ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1999-2009</b> .....	<b>38</b>
2.1 Γενικά στοιχεία όλων των ναυτικών ατυχημάτων στο Αιγαίο το διάστημα 1999-2009.....	38
2.2 Χάρτες απεικόνισης των ατυχημάτων στο Αιγαίο.....	41
2.3 Chi square Test For Goodness-Of-Fit.....	42
2.4 Τα «όρφανα» ατυχήματα και το είδος των ατυχημάτων που θα εξετάσουμε .....	43
2.5 Στοιχεία κυκλοφορίας πλοίων στο Αιγαίο .....	46
2.6 Χαρακτηριστικά των ατυχημάτων ναυσιπλοΐας στην κάθε υπό μελέτη ζώνη.....	50
2.7 Απεικόνιση των χαρακτηριστικών των ατυχημάτων στις τρεις υπό μελέτη ζώνες .....	58
<b>Εφαρμογή του μοντέλου Richter-Gutenberg , Poisson</b> .....	<b>62</b>
3.1 Παράθεση των αποτελεσμάτων των πιθανοτήτων.....	62
3.2 Παράθεση των αντίστοιχων μέτρων σεισμικότητας για τα ατυχήματα .....	71
3.3 Ασυμπτωτικές κατανομές των ακραίων τιμών (Gumbel) .....	77
<b>Εφαρμογή της στοχαστικής διαδικασίας Poisson</b> .....	<b>82</b>
4.1 Εισαγωγή.....	82
4.2 Διαγράμματα F-ΚΕ .....	83
4.3 Συχνότητες ατυχημάτων-Περίοδοι ατυχημάτων σε shipdays.....	85
4.4 Παράθεση των πιθανοτήτων να πάθει ατύχημα ένα πλοίο .....	89
<b>ΕΚΦΡΑΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ</b> .....	<b>94</b>
5.1 Έκφραση της επικινδυνότητας.....	94
5.2 Απεικόνιση της επικινδυνότητας.....	94
<b>ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ/ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΩΝ ΡΥΠΑΝΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΘΑΝΑΤΗΦΟΡΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΕΣ</b> .....	<b>99</b>
6.1 Εισαγωγή.....	99
6.2 Η βάση της επιλογής του $E(C)$ και του $E(C)/E(V)$ .....	99
6.3 Διαγράμματα Κόστους σε Ευρώ και Κινητικής Ενέργειας.....	102
6.4 Απεικόνιση των ρυπάνσεων .....	109
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>114</b>
7.1 Συμπεράσματα.....	114
7.2 Αντί επιλόγου.....	117
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>118</b>





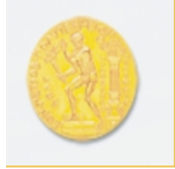


## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

○ ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Σεισμικός Κατάλογος για το ελληνικό τόξο 1920-1979.....	26
○ ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Επίπεδο εμπιστοσύνης με και χωρίς «ορφανά» ατυχήματα.....	45
○ ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Κινητική Ενέργεια-Log(αριθμού ατυχημάτων με κινητική ενέργεια ΚΕ ή μεγαλύτερη).....	64
○ ΠΙΝΑΚΑΣ 4: $a, b$ Συντελεστές για το μοντέλο Richter-Gutenberg.....	64
○ ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Πίνακας στατιστικής σημαντικότητας για τα $a, b$ από logistic Regression.....	64
○ ΠΙΝΑΚΑΣ 6: Κινητική Ενέργεια-Log(αριθμού ατυχημάτων με κινητική ενέργεια ΚΕ ή μεγαλύτερη).....	65
○ ΠΙΝΑΚΑΣ 7: $a, b$ Συντελεστές για το μοντέλο Richter-Gutenberg.....	65
○ ΠΙΝΑΚΑΣ 8: Πίνακας στατιστικής σημαντικότητας για τα $a, b$ από logistic Regression.....	65
○ ΠΙΝΑΚΑΣ 9: Κινητική Ενέργεια-Log(αριθμού ατυχημάτων με κινητική ενέργεια ΚΕ ή μεγαλύτερη).....	66
○ ΠΙΝΑΚΑΣ 10: $a, b$ Συντελεστές για το μοντέλο Richter-Gutenberg.....	66
○ ΠΙΝΑΚΑΣ 11: Πίνακας στατιστικής σημαντικότητας για τα $a, b$ από logistic Regression.....	66
○ ΠΙΝΑΚΑΣ 12: Παράθεση πιθανοτήτων να πάθει ατύχημα ένα πλοίο και να γίνει ατύχημα στη ζώνη 6 μοντέλο Richter-Gutenberg- Poisson.....	69
○ ΠΙΝΑΚΑΣ 13: Παράθεση πιθανοτήτων να πάθει ατύχημα ένα πλοίο και να γίνει ατύχημα στη ζώνη 2 μοντέλο Richter-Gutenberg- Poisson.....	70
○ ΠΙΝΑΚΑΣ 14: Παράθεση πιθανοτήτων να πάθει ατύχημα ένα πλοίο και να γίνει ατύχημα στη ζώνη 3 μοντέλο Richter-Gutenberg -Poisson.....	71
○ ΠΙΝΑΚΑΣ 15: Παράθεση πιθανοτήτων να πάθει ατύχημα ένα πλοίο και να γίνει ατύχημα στη ζώνη με τη στοχαστική διαδικασία Poisson.....	92
○ ΠΙΝΑΚΑΣ 16: Σύγκριση $E(C)$ και $E(V)$ .....	100
○ ΠΙΝΑΚΑΣ 17: Σύγκριση $E(C)/E(V)$ και $E(C)E(1/V)$ .....	101
○ ΠΙΝΑΚΑΣ 18: οι επί τοις εκατό αποκλίσεις των πιθανοτήτων της Poisson και της μεθόδου Richter-Gutenberg -Poisson.....	115







## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1 α, β: Οι βασικές πορείες στο Αιγαίο .....	10
Σχήμα 2: Αποσπάσματα εφημερίδων (Αρχιπελάγους) που εντοπίζουν το πρόβλημα και στοιχεία τύπων πλοίων που διέρχονται από τα Δαρδανέλια .....	12
Σχήμα 3: Αποσπάσματα εφημερίδων (ΤΑ ΝΕΑ) που εντοπίζουν το πρόβλημα.....	12
Σχήμα 4: Εστίες σεισμών στην Ελλάδα .....	24
Σχήμα 5: Εστίες σεισμών δυτικά της Ελλάδος.....	25
Σχήμα 6: Μεταβολή της διαφοράς του μεγέθους του μεγαλύτερου σεισμού και του μεγαλύτερου μετασεισμού με τα έτη ΝΑ Ελλάδος .....	27
Σχήμα 7: Μεταβολή της διαφοράς του μεγέθους του μεγαλύτερου σεισμού και του μεγαλύτερου μετασεισμού με τα έτη ΝΔ Ελλάδος.....	27
Σχήμα 8: Διάγραμμα $\log(N)=a \cdot b \cdot M$ για Καλιφόρνια.....	31
Σχήμα 9: Κατανομή του $b$ στην Ελλάδα .....	31
Σχήμα 10: Λογιστική παλινδρόμηση: μεταβολή της πιθανότητας ως προς μια εξαρτημένη μεταβλητή .....	36
Σχήμα 11: Ηλικία πλοίου – Αριθμός όλων των ατυχημάτων το διάστημα 1999-2009 .....	38
Σχήμα 12: Σημιαία πλοίου – Ποσοστό των ατυχημάτων ως προς τα συνολικά το διάστημα 1999-2009.....	38
Σχήμα 13: Τύπος πλοίου – Ποσοστό των ατυχημάτων ως προς τα συνολικά το διάστημα 1999-2009.....	39
Σχήμα 14: Αιτία ατυχημάτων – Ποσοστό των ατυχημάτων ως προς τα συνολικά το διάστημα 1999-2009.....	39
Σχήμα 15: Αριθμός ατυχημάτων –Έτος το διάστημα 1999-2009 .....	40
Σχήμα 16: Κ.Ο.Χ. –Έτος το διάστημα 1999-2009.....	40
Σχήμα 17: Αριθμός νεκρών –Έτος το διάστημα 1999-2009.....	41
Σχήμα 18: Χάρτης απεικόνισης των ατυχημάτων το διάστημα 1999-2009 .....	41
Σχήμα 19: Χάρτης απεικόνισης των ατυχημάτων το διάστημα 1999-2009 .....	42
Σχήμα 20: ποσοστό «ορφανών» ατυχημάτων σε σχέση με τα συνολικά το διάστημα 1999-2009 .....	43
Σχήμα 21: απεικόνιση «ορφανών» ατυχημάτων σε σχέση με τα συνολικά το διάστημα 1999-2009 .....	44
Σχήμα 22: ημερήσιος αριθμός πλοίων στο Αιγαίο 13/04/2007-13/10/2009.....	46
Σχήμα 23: ημερήσιος αριθμός πλοίων στο Αιγαίο από το AIS 4/04/2011 .....	46
Σχήμα 24: εξέλιξη των shipyears και στις τρεις ζώνες την τελευταία δεκαετία.....	47
Σχήμα 25: Ημερήσιος αριθμός πλοίων στο Αιγαίο.....	47
Σχήμα 26: Πορείες στις 15-05-2009 .....	48
Σχήμα 27: Πορείες στις 22-02-2008 .....	48
Σχήμα 28: Πορείες στις 10-11-2007 .....	49
Σχήμα 29: Στίγματα πλοίων 15-05-2009.....	49
Σχήμα 30: Τύποι πλοίων στη ζώνη 6.....	50
Σχήμα 31: Είδη ατυχημάτων στη ζώνη 6.....	50
Σχήμα 32: Χρονολογία ατυχημάτων στη ζώνη 6 .....	51
Σχήμα 33: Μεταβολή της ΚΕ με τον χρόνο στη ζώνη 6.....	51
Σχήμα 34: Είδη Ατυχημάτων στη ζώνη 2 .....	52
Σχήμα 35: Τύποι πλοίων στη ζώνη 2.....	52
Σχήμα 36: Χρονολογία ατυχημάτων στη ζώνη 2 .....	53
Σχήμα 37: Μεταβολή της ΚΕ με τον χρόνο στη ζώνη 2.....	53
Σχήμα 38: Τύποι πλοίων στη ζώνη 3.....	54
Σχήμα 39: Είδη ατυχημάτων στη ζώνη 3.....	54
Σχήμα 40: Μεταβολή της ΚΕ με τον χρόνο στη ζώνη 3.....	55
Σχήμα 41: Έτος ατυχημάτων στη ζώνη 3 .....	55
Σχήμα 42: Μεταβολή του αριθμού ατυχημάτων με τον χρόνο στη ζώνη 2 .....	56
Σχήμα 43: Μεταβολή του αριθμού ατυχημάτων με τον χρόνο στη ζώνη 3 .....	56
Σχήμα 44: Μεταβολή του αριθμού ατυχημάτων με τον χρόνο στη ζώνη 6 .....	57
Σχήμα 45: Ατυχήματα ναυσιπλοΐας και στις τρεις ζώνες.....	57
Σχήμα 46: Χρονολογία ατυχημάτων.....	58







Σχήμα 47: Είδος ατυχημάτων.....	58
Σχήμα 48: Τύποι πλοίων .....	59
Σχήμα 49: Με περιοχές Natura ατυχήματα ναυσιπλοΐας.....	59
Σχήμα 50: Κινητική Ενέργεια των εμπλεκόμενων σ' ατυχήματα πλοίων στις Ζώνες 2,6 .....	60
Σχήμα 51: Κινητική Ενέργεια των εμπλεκόμενων σ' ατυχήματα πλοίων στη Ζώνη 3 .....	60
Σχήμα 52: $\log(\text{αριθμού ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη})$ -Κινητική Ενέργεια στη Ζώνη 6 .....	62
Σχήμα 53: $\log(\text{αριθμού ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη})$ -Κινητική Ενέργεια στη Ζώνη 2 .....	62
Σχήμα 54: $\log(\text{αριθμού ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη})$ -Κινητική Ενέργεια στη Ζώνη 3 .....	63
Σχήμα 55: Πιθανότητα να γίνει ατύχημα με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη-Κινητική Ενέργεια στη Ζώνη 3 .....	67
Σχήμα 56: Πιθανότητα να γίνει ατύχημα με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη-Κινητική Ενέργεια στη Ζώνη 2 .....	68
Σχήμα 57: Πιθανότητα να γίνει ατύχημα με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη-Κινητική Ενέργεια στη Ζώνη 6 .....	68
Σχήμα 58: Σύγκριση των πιθανοτήτων να γίνει ατύχημα με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη-Κινητική Ενέργεια και στις 3 ζώνες.....	69
Σχήμα 59: Ετήσιος αριθμός ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη-Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 3.....	72
Σχήμα 60: Ετήσιος αριθμός ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη-Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 2.....	72
Σχήμα 61: Ετήσιος αριθμός ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη-Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 6.....	73
Σχήμα 62: Μέση περίοδος επανάλιψης σε έτη-Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 6.....	73
Σχήμα 63: Μέση περίοδος επανάλιψης σε έτη-Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 2.....	74
Σχήμα 64: Μέση περίοδος επανάλιψης σε έτη-Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 3.....	74
Σχήμα 65: Πιθανότερη μέγιστη Κινητική Ενέργεια πλοίου σ' ατύχημα -Έτη στις 3 ζώνες.....	75
Σχήμα 66: Πιθανότητα $P$ ώστε η περίοδος επανάλιψης των ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη, να είναι μεγαλύτερη από ορισμένη τιμή $T=1,2,3$ χρόνια -Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 3 .....	76
Σχήμα 67: Πιθανότητα $P$ ώστε η περίοδος επανάλιψης των ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη, να είναι μεγαλύτερη από ορισμένη τιμή $T=1,2,3$ χρόνια -Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 2 .....	76
Σχήμα 68: Πιθανότητα $P$ ώστε η περίοδος επανάλιψης των ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη, να είναι μεγαλύτερη από ορισμένη τιμή $T=1,2,3$ χρόνια -Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 6 .....	77
Σχήμα 69: Πιθανότητα να συμβεί ατύχημα με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη-Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 6.....	79
Σχήμα 70: Πιθανότητα να συμβεί ατύχημα με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη-Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 3.....	79
Σχήματα 71,72: Πιθανότητα να συμβεί ατύχημα με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη-Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 2.....	80
Σχήμα 73: Συχνότητα ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη-Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 3.....	83
Σχήμα 74: : Συχνότητα ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη-Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 2.....	83
Σχήμα 75: Συχνότητα ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη-Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 6.....	84
Σχήμα 76: Συχνότητα να συμβεί ατύχημα με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη-Κινητική Ενέργεια για τις τρεις ζώνες .....	85
Σχήμα 77: : Συχνότητα ατυχημάτων-έτος για την ζώνη 6.....	85
Σχήμα 78: Συχνότητα ατυχημάτων-έτος για την ζώνη 2 .....	85
Σχήμα 79: Συχνότητα ατυχημάτων-έτος για την ζώνη 3 .....	86
Σχήμα 80: Πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο με βάση τη συχνότητα ατυχημάτων της προηγούμενης χρονιάς-έτος για και για τις τρεις ζώνες .....	86
Σχήμα 81: Περίοδος ατυχημάτων σε shipdays- έτος για τη ζώνη 6.....	87







Σχήμα 82: Περίοδος ατυχημάτων σε shipdays-έτος για τη ζώνη 2.....	87
Σχήμα 83α: Περίοδος ατυχημάτων σε shipdays- έτος για τη ζώνη 3.....	87
Σχήμα 83β: Περίοδος ατυχημάτων σε shipdays- έτος και για τις τρεις ζώνες.....	88
Σχήμα 84: Πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο στη ζώνη 6- αριθμός ατυχημάτων για τη ζώνη 6.....	89
Σχήμα 85: Πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο στη ζώνη 2- αριθμός ατυχημάτων για τη ζώνη 2.....	90
Σχήμα 86: Πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο στη ζώνη 3- αριθμός ατυχημάτων για τη ζώνη 3.....	91
Σχήμα 87: Συγκεντρωτικά Πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο στις 3 ζώνες – αριθμός ατυχημάτων για τις 3 ζώνες.....	92
Σχήμα 88: Απεικόνιση της επικινδυνότητας στη ζώνη 6 ως $f*KE$ .....	94
Σχήμα 89: Απεικόνιση της επικινδυνότητας στη ζώνη 3 ως $f*KE$ .....	95
Σχήμα 90: Απεικόνιση της επικινδυνότητας στη ζώνη 2 ως $f*KE$ .....	95
Σχήμα 91: Απεικόνιση της επικινδυνότητας στη ζώνη 2 ως $p*KE$ .....	96
Σχήμα 92: Απεικόνιση της επικινδυνότητας στη ζώνη 3 ως $p*KE$ .....	96
Σχήμα 93: Απεικόνιση της επικινδυνότητας στη ζώνη 6 ως $p*KE$ .....	97
Σχήμα 94: Απεικόνιση της επικινδυνότητας στις τρεις ζώνες ως $p*KE$ .....	97
Σχήμα 95: An Empirical Analysis of IOPCF Oil Spill Cost Data.....	99
Σχήμα 96: Σύγκριση $E(C)/E(V)$ και $E(C)E(1/V)$ .....	102
Σχήμα 97: Μεταβολή του κόστους των ατυχημάτων σε Ευρώ σε σχέση με την $KE$ των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα για πλοία<5000 KOX.....	102
Σχήμα 98: Μεταβολή του κόστους των ατυχημάτων σε Ευρώ σε σχέση με την $KE$ των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα για πλοία>5000 KOX.....	103
Σχήμα 99: Μεταβολή του κόστους των ατυχημάτων σε Ευρώ σε σχέση με την $KE$ των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα για πλοία με ταχύτητα<14 kn.....	103
Σχήμα 100: Μεταβολή του κόστους των ατυχημάτων σε Ευρώ σε σχέση με την $KE$ των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα με ρύπανση για όλα τα πλοία.....	104
Σχήμα 101: Μεταβολή του κόστους των ατυχημάτων σε Ευρώ σε σχέση με την $KE$ των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα με ρύπανση και νεκρούς για όλα τα πλοία.....	1044
Σχήμα 102: Μεταβολή του κόστους των ατυχημάτων σε Ευρώ σε σχέση με την $KE$ των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα για Bulk Carrier.....	105
Σχήμα 103: Μεταβολή του κόστους των ατυχημάτων σε Ευρώ σε σχέση με την $KE$ των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα για RO-RO.....	105
Σχήμα 104: Μεταβολή του κόστους των ατυχημάτων σε Ευρώ σε σχέση με την $KE$ των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα για $\Delta/\Xi$ .....	106
Σχήμα 105: Μεταβολή του κόστους των ατυχημάτων σε Ευρώ σε σχέση με την $KE$ των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα για προσαράξεις.....	106
Σχήμα 106: Μεταβολή του κόστους των ατυχημάτων σε Ευρώ σε σχέση με την $KE$ των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα για πλοία με $V>14kn$ .....	107
Σχήμα 107: Μεταβολή του κόστους των ατυχημάτων σε Ευρώ σε σχέση με την $KE$ των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα για συγκρούσεις.....	107
Σχήμα 108: Κόστος ατυχημάτων σε Ευρώ σχέση με το είδος του ατυχήματος.....	108
Σχήμα 109: Κόστος ατυχημάτων σε Ευρώ σχέση με το τύπο πλοίου.....	108
Σχήμα 110: Τόννοι πετρελαίου από ρυπάνσεις ανά αριθμό ατυχημάτων στη ζώνη 2.....	109
Σχήμα 111: Τόννοι πετρελαίου από ρυπάνσεις ανά αριθμό ατυχημάτων στη ζώνη 3.....	109
Σχήμα 112: Τόννοι πετρελαίου από ρυπάνσεις ανά αριθμό ατυχημάτων στη ζώνη 6.....	110
Σχήμα 113: Τόννοι πετρελαίου από ρυπάνσεις ανά shipdays στις 3 ζώνες.....	110
Σχήμα 114: Κόστος σε Ευρώ των ρυπάνσεων και των νεκρών των ατυχημάτων στις 3 ζώνες.....	111
Σχήμα 115: Κόστος σε Ευρώ των ρυπάνσεων και των νεκρών των ατυχημάτων επί την πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο στις 3 ζώνες.....	111
Σχήμα 116: Κόστος σε Ευρώ των θανατηφόρων ατυχημάτων επί την πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο στις 3 ζώνες.....	112
Σχήμα 117: Ζώνες επικινδυνότητας θανατηφόρου ατυχήματος.....	112
Σχήμα 118: Σύγκριση πιθανοτήτων να γίνει ατύχημα σε μια μέρα με Poisson και με το μοντέλο του Richter-Gutenberg-Poisson.....	114
Σχήμα 119: Σύγκριση πιθανοτήτων να πάθει ατύχημα ένα πλοίο με Poisson και με το μοντέλο του Richter-Gutenberg.....	114







## Περίληψη

Το Αιγαίο πέλαγος είναι μια ημίκλειστη θάλασσα, η οποία χαρακτηρίζεται από μία ιδιαίτερη γεωμορφολογία. Αναρίθμητες βραχονησίδες και ύφαλοι είναι διάσπαρτοι σε όλο το Αιγαίο, θέτοντας εμπόδια στις θαλάσσιες μεταφορές. Έπειτα, εξίσου ιδιαίτερες είναι και οι καιρικές συνθήκες, καθώς είναι γνωστό ότι στο Αιγαίο αναπτύσσονται συχνά θυελλώδεις άνεμοι που προκαλούν θαλασσοταραχή. Τέλος, κανείς δεν μπορεί να αγνοήσει την υψηλή συχνότητα των θαλάσσιων δρομολογίων στο Αιγαίο, γεγονός που στατιστικά αυξάνει τον κίνδυνο των ατυχημάτων. Λαμβάνοντας υπ' όψη τους παραπάνω παράγοντες διαπιστώνουμε ότι υπάρχει αυξημένος βαθμός επικινδυνότητας ναυτικού ατυχήματος.

Με την επεξεργασία δεδομένων σε συνεχή ροή από τις αρχές του 1999 έως και τα τέλη του 2009, καταγράφουμε τα χαρακτηριστικά κάθε πλοίου που έχει εμπλακεί σ' ατύχημα το παραπάνω διάστημα, όπως τύπος, σημαία, φορτίο, μέγεθος. Στόχος της διπλωματικής είναι να γίνει μια πραγματική εκτίμηση τόσο της κίνησης των πλοίων στο Αιγαίο όσο και της πραγματικής επικινδυνότητας ατυχήματος ναυσιπλοΐας από την «ελεύθερη και χωρίς έλεγχο ναυσιπλοΐα πλοίων» όλων των τύπων, στα βασικά θαλάσσια περάσματα του Αιγαίου.

Τα βασικά θαλάσσια περάσματα του Αιγαίου που επικεντρώνεται η έρευνα είναι:

- ⊗ Η ζώνη 6 η οποία είναι Suez - Δαρδανέλια
- ⊗ Η ζώνη 2 η οποία είναι Αδριατική - Δαρδανέλια
- ⊗ Η ζώνη 3 η οποία είναι Θεσσαλονίκη - Ηράκλειο

Για να προκύψει η εκτίμηση της επικινδυνότητας προϋποθέτει την εύρεση της πιθανότητας να συμβεί ατύχημα στη κάθε ζώνη με βάση την κατανομή Poisson. Η εκτίμηση της παραπάνω πιθανότητας βασίζεται στην συχνότητα, δηλαδή, στην εκτίμηση του αριθμού των διερχομένων πλοίων στο Αιγαίο στη κάθε ζώνη επιμέρους. Το πρόβλημα αυτό επιλύθηκε με την συνεισφορά της ΙΜΙΣ μέσω της παροχής μιας βάσεως δεδομένων, στην οποία υπήρχαν τα στίγματα των πλοίων στο Αιγαίο για κάθε ημέρα επί των τελευταίων δύομισι χρόνων. Την πιθανότητα αυτήν την πολλαπλασιάσαμε με το μέγεθος της Κινητικής Ενέργειας των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα στις τρεις ζώνες έτσι ώστε να αποκτήσουμε μια αίσθηση της επικινδυνότητας στη κάθε ζώνη ξεχωριστά.





## **Abstract**

The Aegean Sea is a semi-enclosed sea, which is characterized by a particular geomorphology. Numerous islets and reefs are scattered across the Aegean, putting obstacles to the normal execution of the shipping transportations. Furthermore, most of the times the weather conditions in the Aegean are bad, causing strong winds, which can lead to enormous waves. Finally, no one can ignore the high frequency of the passages in the Aegean sea, which statistically increases the risk of having accidents. Taking into account these factors, we find out that there is an increased degree of risk of a maritime accident.

By data analysis from early 1999 until late 2009, we record the characteristics of each ship, which has been involved in an accident during this period, such as type, flag, gross tonnage. The aim of this research is to make a true assessment of the ships' passages in the Aegean and to estimate the real risk of having a navigational accident of all types of ships which can pass through the Aegean freely and without any control.

The main passages in the Aegean Sea on which the research focuses are:

- ⊗ Zone 6 which is Suez - Dardanelles
- ⊗ Zone 2, which is Adriatic - Dardanelles
- ⊗ Zone 3, which is Thessaloniki - Heraklion

In order to obtain the risk assessment we have to find the probability of having a navigational accident in each zone, which is based on the distribution of Poisson. The estimation of the probability is based on frequency, meaning the estimated number of ships' crossing in the Aegean sea. This problem was resolved with the contribution of IMIS by providing us a database in which there were the recorded positions of ships in the Aegean for each day of the past two and a half years. We multiply this probability with the kinetic energy of each ship which is involved in accidents in the three zones in order to get a sense of risk in each zone separately.







*Ανάλυση ατυχημάτων ναυσιπλοΐας στο Αιγαίο Πέλαγος*

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

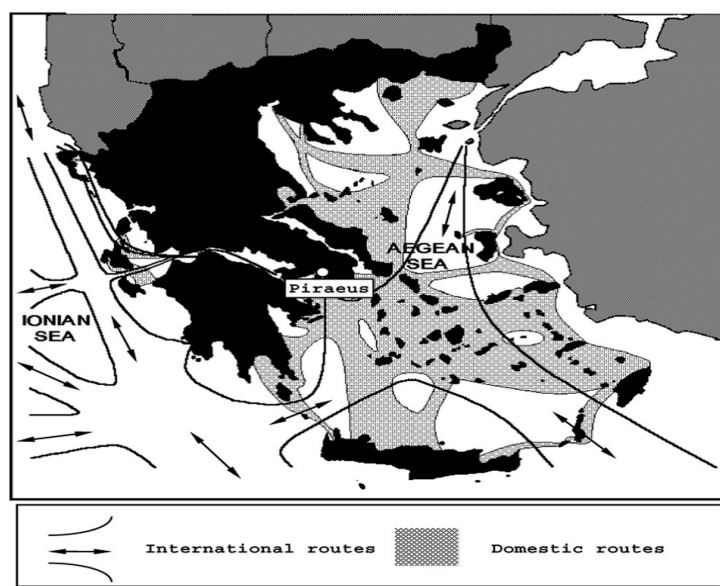
### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ- ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΕΝΝΟΙΩΝ**





## Εισαγωγή

Το Αιγαίο πέλαγος είναι μια ημίκλειστη θάλασσα, η οποία χαρακτηρίζεται από μία ιδιαίτερη γεωμορφολογία. Αναρίθμητες βραχονησίδες και ύφαλοι είναι διάσπαρτοι σε όλο το Αιγαίο, θέτοντας εμπόδια στις θαλάσσιες μεταφορές. Έπειτα, εξίσου ιδιαίτερες είναι και οι καιρικές συνθήκες, καθώς είναι γνωστό ότι στο Αιγαίο αναπτύσσονται συχνά θυελλώδεις άνεμοι που προκαλούν θαλασσοταραχή. Τέλος, κανείς δεν μπορεί να αγνοήσει την υψηλή συχνότητα των θαλάσσιων δρομολογίων στο Αιγαίο, γεγονός που στατιστικά αυξάνει τον κίνδυνο των ατυχημάτων. Λαμβάνοντας υπ' όψη τους παραπάνω παράγοντες διαπιστώνουμε ότι υπάρχει αυξημένος βαθμός επικινδυνότητας ναυτικού ατυχήματος.



Σχήμα 1 α, β: Οι βασικές πορείες στο Αιγαίο



Η μεγάλη επικινδυνότητα ναυτικού ατυχήματος στο Αιγαίο

Ενδεικτικά το δίμηνο από τα μέσα Νοεμβρίου 2009 έως τα μέσα Ιανουαρίου 2010, μόνο στα περάσματα Εύβοιας- Άνδρου και Μυκόνου- Ικαρίας καταμετρήθηκαν συνολικά 2.648 εμπορικά πλοία, εκ των οποίων τα 389 (14,7%) μετέφεραν επικίνδυνο φορτίο. Αξίζει να σημειωθεί ότι περισσότερα από τα μισά εμπορικά που διαπλέουν τις ελληνικές θάλασσες φέρουν τις λεγόμενες “σημαίες ευκαιρίας”, είναι δηλαδή νηολογημένα σε χώρες όπως ο Παναμάς και η Λιβερία. Αυτό έχει και τη σημασία του, καθώς τα κράτη αυτά συνήθως δεν προτίθενται να αποζημιώσουν ή δεν έχουν και το κατάλληλο νομικό πλαίσιο ώστε να οδηγήσουν σε δίκη τους υπευθύνους ύστερα από ένα ατύχημα ή ρύπανση στην ανοιχτή θάλασσα.

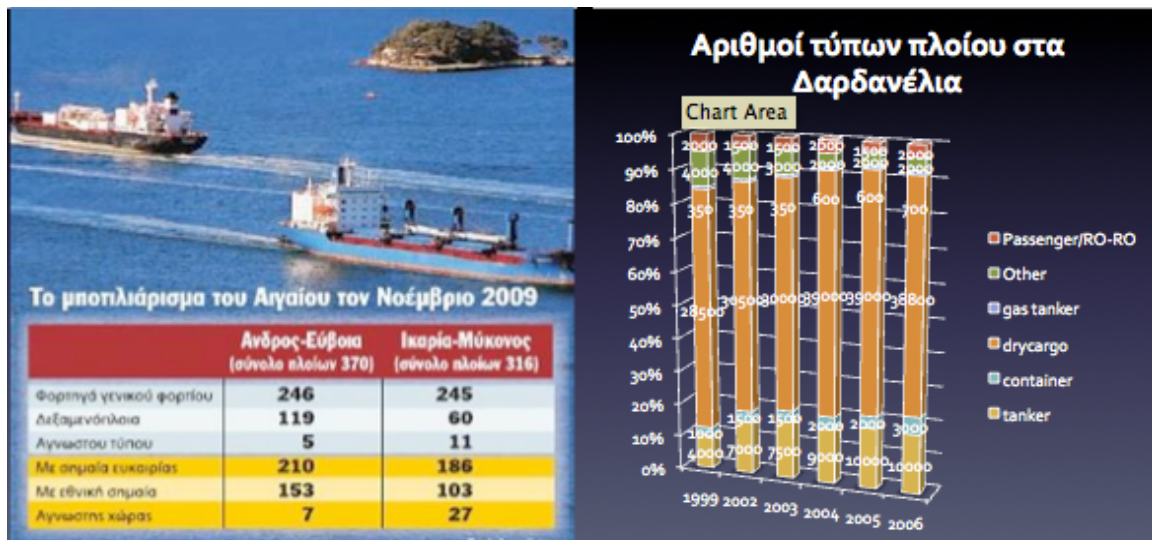
Με την επεξεργασία δεδομένων σε συνεχή ροή από τις αρχές του 1999 έως και τα τέλη του 2009 , καταγράφουμε τα χαρακτηριστικά κάθε πλοίου που έχει εμπλακεί σ’ ατύχημα το παραπάνω διάστημα, όπως τύπος, σημαία, φορτίο, μέγεθος . Στόχος της έρευνας είναι να γίνει μια πραγματική εκτίμηση τόσο της κίνησης των πλοίων στο Αιγαίο όσο και της πραγματικής επικινδυνότητας ατυχήματος ναυσιπλοΐας από την «ελεύθερη και χωρίς έλεγχο ναυσιπλοΐα πλοίων» όλων των τύπων, στα βασικά θαλάσσια περάσματα του Αιγαίου.

Ενδεικτικά, για τον μήνα Νοέμβριο σε δύο από τα βασικότερα περάσματα του Αιγαίου, 770 πλοία διαπέρασαν το στενό Εύβοιας -Άνδρου και 616 το στενό Μυκόνου- Ικαρίας, εκ των οποίων περίπου 12% είχαν επικίνδυνο φορτίο (π.χ. χημικά ή τοξικά απόβλητα). Από το σύνολο των πλοίων, το 71% ήταν φορτηγά, ενώ 26% δεξαμενόπλοια.

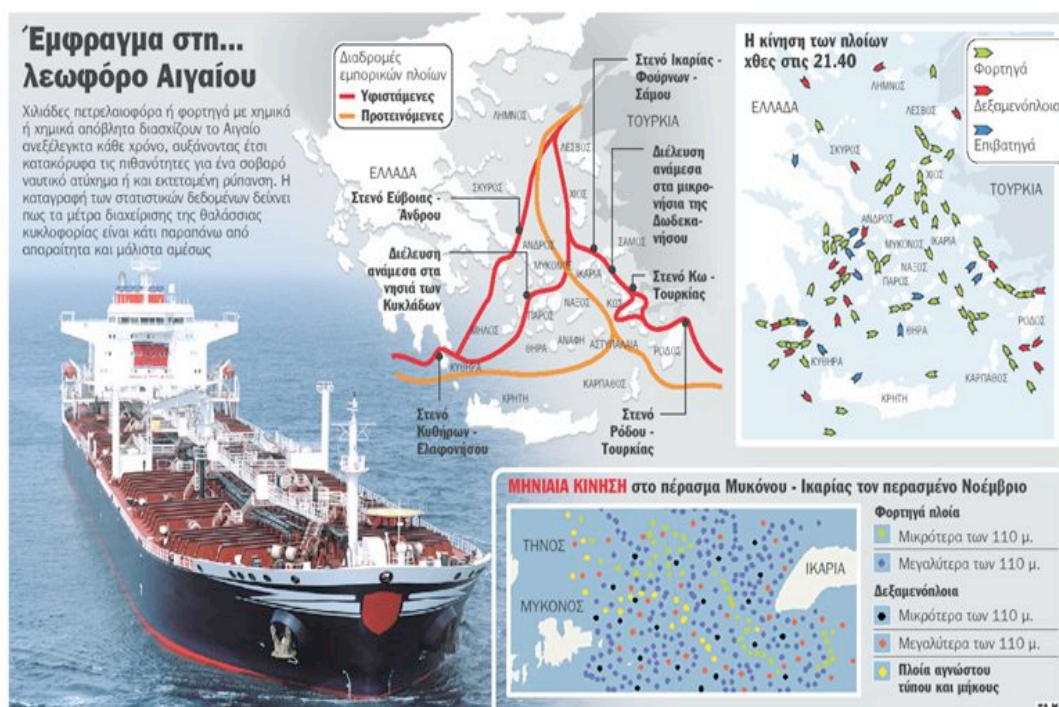
Να σημειωθεί ότι το Αιγαίο εξακολουθεί να χαρακτηρίζεται ως μία από τις πιο βιοποικίλες θάλασσες τόσο στην Ευρώπη, όσο και παγκοσμίως, στηρίζοντας σημαντικούς πληθυσμούς από σπάνια και προστατευόμενα είδη. Για παράδειγμα στο Αιγαίο σήμερα επιβιώνουν μερικοί από τους σημαντικότερους πληθυσμούς θαλάσσιων θηλαστικών στη Μεσόγειο, με 4 είδη δελφινιών, 2 είδη φαλαινών και τον μεγαλύτερο εναπομείναντα στον κόσμο πληθυσμό μεσογειακής φώκιας, ένα είδος που απειλείται με άμεση εξαφάνιση.







Σχήμα 2: Αποσπάσματα εφημερίδων (Αρχιπελάγους) που εντοπίζουν το πρόβλημα και στοιχεία τύπων πλοίων που διέρχονται από τα Δαρδανέλια



Σχήμα 3: Αποσπάσματα εφημερίδων (TA NEA) που εντοπίζουν το πρόβλημα





Εντοπίζοντας το προαναφερθέν πρόβλημα στο Αιγαίο προσπαθούμε να δώσουμε μια εικόνα της επικινδυνότητας σε τρεις κύριες πολυσύχναστες ζώνες διέλευσης πλοίων στο Αιγαίο από τις 9 συνολικά ζώνες διέλευσης πλοίων που υπάρχουν στο Αιγαίο και στο Ιόνιο και στον Κορινθιακό :

- ⊗ Η ζώνη 6 η οποία είναι Suez - Δαρδανέλια
- ⊗ Η ζώνη 2 η οποία είναι Αδριατική - Δαρδανέλια
- ⊗ Η ζώνη 3 η οποία είναι Θεσσαλονίκη - Ηράκλειο

Για να προκύψει η εικόνα της επικινδυνότητας προϋποθέτει την εύρεση της πιθανότητας να συμβεί ατύχημα στη κάθε ζώνη. Η εκτίμηση της παραπάνω πιθανότητας προκύπτει από την εκτίμηση του αριθμού των διερχομένων πλοίων στο Αιγαίο στη κάθε ζώνη επιμέρους. Το πρόβλημα αυτό επιλύθηκε με την συνεισφορά της IMIS μέσω της παροχής μιας βάσεως δεδομένων, στην οποία υπήρχαν τα στίγματα των πλοίων στο Αιγαίο για κάθε ημέρα επί των τελευταίων δύομισι χρόνων. Την πιθανότητα αυτήν την πολλαπλασιάσαμε με το μέγεθος της Κινητικής Ενέργειας των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα στις τρεις ζώνες έτσι ώστε να αποκτήσουμε μια αίσθηση της επικινδυνότητας στη κάθε ζώνη ξεχωριστά.

Η προαναφερθείσα πιθανότητα υπολογίστηκε με τους τρεις παρακάτω τρόπους:

- Κατανομή Poisson
- Επίσης έγινε μια προσπάθεια αποτύπωσης της επικινδυνότητας και μ' ένα μοντέλο της σεισμολογίας θεωρώντας ως κοινά στοιχεία ότι σεισμοί και ατυχήματα στο μοντέλο της σεισμολογίας είναι σπάνια και ανεξάρτητα γεγονότα καθώς και ότι οι ζώνες με αυξημένο βαθμό επικινδυνότητας μπορούν να παρομοιαστούν ως ρήγματα.
- Με τη μέθοδο της Λογιστικής Παλινδρόμησης. Η μέθοδος αυτή διαπιστώσαμε ότι υποεκτιμά την πιθανότητα να συμβεί ατύχημα. Συνεπώς τα προκύπτοντα αποτελέσματα της μεθόδου δεν τα συμπεριλάβαμε.
- Έγινε μια απόπειρα εξαγωγής πιθανοτήτων από συχνότητες μέσω του Rule of Succession αλλά λόγω του ότι δεν έχουμε κάθε χρόνο ατύχημα και στις τρεις ζώνες δεν βρήκε εφαρμογή καθώς δεν τηρείται η συνθήκη για διαδοχικά γεγονότα κάθε χρόνο που είναι απαραίκλιτη για το rule of succession.





Τη προκύπτουσα πιθανότητα από τη στοχαστική διαδικασία Poisson τη πολλαπλασιάζουμε με τον αριθμό των διερχομένων πλοίων στη κάθε ζώνη έτσι ώστε να βρούμε προσεγγιστικά την πιθανότητα να γίνει ατύχημα στην εκάστοτε ζώνη, θεωρώντας ότι η τομή των ενδεχομένων-ατυχημάτων είναι  $\emptyset$  (μηδέν) καθώς είναι πάρα πολύ μικρός αριθμός (ασυμβίβαστα). Αντίστοιχα με την πιθανότητα από το μοντέλο της σεισμολογίας την διαιρέσαμε με τον αριθμό των διερχομένων πλοίων για να προκύψει η πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο. Αξίζει να σημειωθεί ότι η πιθανότητα να πάθει ένα πλοίο ατύχημα σε μια ημέρα είναι ίδια με την πιθανότητα να πάθει ατύχημα σ' ένα χρόνο το ίδιο πλοίο. Εδώ πρέπει να επισημανθεί ότι:

- τη ζώνη 3 για να τη διασχίσει ένα πλοίο χρειάζεται 1,25 μέρες αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι το 10% είναι Δ/Ξ, 1% Containerships, 75% Φ/Γ Ξηρού φορτίου, 14% Ε/Γ-Ο/Γ, και πολλαπλασιάζοντας τα ποσοστά αυτά με τη μέση ταχύτητα του κάθε τύπου πλοίου βρίσκουμε τη μέση ταχύτητα των πλοίων στη ζώνη αυτή. Έπειτα βρίσκοντας το μήκος σε km της ζώνης το διαιρούμε με τη μέση ταχύτητα που προκύπτει με τον τρόπο που περιγράφηκε προηγουμένως. (700km)
- τη ζώνη 2 για να τη διασχίσει ένα πλοίο χρειάζεται 2 μέρες αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι το 26% είναι Δ/Ξ, 1% Containerships, 71% Φ/Γ Ξηρού φορτίου, 2% Ε/Γ-Ο/Γ, και πολλαπλασιάζοντας τα ποσοστά αυτά με τη μέση ταχύτητα του κάθε τύπου πλοίου βρίσκουμε τη μέση ταχύτητα των πλοίων στη ζώνη αυτή. Έπειτα βρίσκοντας το μήκος σε km της ζώνης το διαιρούμε με τη μέση ταχύτητα που προκύπτει με τον τρόπο που περιγράφηκε προηγουμένως. (1075km)
- τη ζώνη 6 για να τη διασχίσει ένα πλοίο χρειάζεται 1,45 μέρες αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι το 26% είναι Δ/Ξ, 1% Containerships, 71% Φ/Γ Ξηρού φορτίου, 2% Ε/Γ-Ο/Γ, και πολλαπλασιάζοντας τα ποσοστά αυτά με τη μέση ταχύτητα του κάθε τύπου πλοίου βρίσκουμε τη μέση ταχύτητα των πλοίων στη ζώνη αυτή. Έπειτα βρίσκοντας το μήκος σε km της ζώνης το διαιρούμε με τη μέση ταχύτητα που προκύπτει με τον τρόπο που περιγράφηκε προηγουμένως. (785km)

Βγάζοντας τα μεγέθη αυτά μπορούμε να γνωρίζουμε τον αριθμό των διερχομένων πλοίων στο Αιγαίο μες το χρόνο, έχοντας βέβαια τον ημερήσιο αριθμό των πλοίων στη κάθε ζώνη από τη βάση της ΙΜΙΣ.







## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΕΝΝΟΙΩΝ ΠΟΥ ΘΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΟΥΜΕ**

### *1.1 Η ΒΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ*

Πριν από την προσάραξη ή σύγκρουση, το πλοίο κινείται με ταχύτητα  $V$  και η κινητική του ενέργεια (ΚΕ) δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$KE = 1/2 \cdot (m + m') \cdot (V^2)$$

*όπου  $m$  είναι η πραγματική μάζα του πλοίου και  $m'$  είναι η προστιθέμενη μάζα μιας ισοδύναμης ποσότητας νερού η οποία επιταχύνει (ακολουθεί) μαζί με το πλοίο. Εμείς θεωρούμε ότι  $m' = 0$  λόγω έλλειψης δεδομένων.*

Κατά την διάρκεια της σύγκρουσης, πρόσκρουσης ή της προσάραξης, η ΚΕ μετασχηματίζεται ή διαχέεται μέσω διαφόρων μηχανισμών. Ένα μέρος της ΚΕ μετασχηματίζεται σε δυναμική ενέργεια του πλοίου λόγω των αλλαγών στο βύθισμα, στη κλίση και στη διαγωγή. Ένα άλλο μέρος της ΚΕ μετατρέπεται σε τριβή, η οποία δρα κυρίως ανάμεσα στις εφαιπτόμενες επιφάνειες των δύο πλοίων σε περίπτωση σύγκρουσης ή ανάμεσα στις επιφάνειες του πλοίου και του αντικειμένου στο οποίο έγινε προσάραξη σε περίπτωση προσάραξης.

Η ΚΕ επίσης μετασχηματίζεται σε ενέργεια παραμόρφωσης της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου (π.χ. πλαστική). Τέλος, υδροδυναμικές επιδράσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν τριβή νερού και παραγόμενα κύματα, διαχέουν ένα μέρος της ΚΕ αλλά επειδή είναι πολύ μικρό το τμήμα αυτό της ΚΕ συνήθως αμελείται η επίδραση αυτή.

*Από μια άλλη πηγή έχουμε :* ότι η ενέργεια που απορροφάται από τη γάστρα του πλοίου από χτύπημα στο πυθμένα ισοδυναμεί με το έργο που καταναλίσκεται από το πλοίο κατά τη διάρκεια της πρόσκρουσης. Η τιμή της ενέργειας αυτής μπορεί να προσδιορισθεί από τη παρακάτω σχέση:

$$E_v = m_s \cdot V_v^2 / 2$$

όπου  $E_v$  : η ενέργεια που απορροφάται κατά την διάρκεια της επαφής, σύγκρουσης ή προσάραξης

$m_s$ : η μάζα του πλοίου

$V_v$ : η κατακόρυφη συνιστώσα της ταχύτητας του πλοίου





Η ενέργεια αυτή κυρίως εξαρτάται από τη δύναμη που εμφανίζεται μεταξύ της γάστρας και του πυθμένα. Η εξίσωση ισορροπίας της ενέργειας μετά από πρόσκρουση εκφράζεται από την παρακάτω σχέση:

$$E(0) - E(t) = E_p + E_f$$

όπου  $E(t)$  : η κινητική ενέργεια του πλοίου στην ώρα της σύγκρουσης

$E(0)$ : αρχική κινητική ενέργεια

$E_p$ : Ενέργεια Παραμόρφωσης του χάλυβα της γάστρας

$E_f$ : Ενέργεια Τριβής

Συνεπώς, στη παρούσα διπλωματική θα θεωρήσουμε την κινητική ενέργεια του κάθε πλοίου ως ένα δείκτη της εν δυνάμει εκλυόμενης ενέργειας των ατυχημάτων στα οποία μπορεί να εμπλακεί το κάθε πλοίο καθώς η παραδοχή αυτή μας οδηγεί στο να αποκτήσουμε ένα μέτρο των εν δυνάμει μέγιστων υλικών καταστροφών που μπορούν να υποστούν τα πλοία που εμπλέκονται σε ατυχήματα στις τρεις ζώνες μελέτης. Αμέσως παρακάτω γίνεται αναφορά για το πως εμπλέκεται η Κινητική Ενέργεια με την σεισμολογία.

Αξίζει να επισημανθεί πριν προχωρήσουμε ότι στη σεισμολογία: το μέγεθος ενός σεισμού εκφράζεται σε βαθμούς της κλίμακας *Richter* και είναι η φυσική ποσότητα που χρησιμοποιείται από τους σεισμολόγους για τη μέτρηση της σεισμικής ενέργειας που απελευθερώνεται στο σημείο που εκδηλώνεται ο σεισμός. Εν προκειμένω, αντιστοιχούμε το μέγεθος της ΚΕ με το μέγεθος ενός σεισμού κάνοντας την παραδοχή ότι η εν δυνάμει εκλυόμενη ενέργεια ενός ατυχήματος αντιστοιχίζεται στη ΚΕ του πλοίου λίγο πριν το ατύχημα.

Η παραπάνω εκλυόμενη ενέργεια αποτελεί το γενικό μέγεθος ενός ατυχήματος ναυσιπλοΐας. Χρησιμοποιούμε αυτό το μέγεθος της ΚΕ στο μοντέλο της σεισμολογίας για την πρόβλεψη του μεγέθους και του χρόνου εμφάνισης του επόμενου ατυχήματος ναυσιπλοΐας στο Αιγαίο.





## 1.2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Έχει χρησιμοποιηθεί η Κινητική Ενέργεια ως μέτρο της εκλυόμενης ενέργειας από τις παρακάτω πηγές:

1) *W. Galor, Waly Chrobrego, March 2006, An Assessment of Ship Impact on the Ground during Maneuvering in a Port Water Area, International Journal of Materials & Structural Reliability Vol.4, No.1, Maritime University of Szczecin, str.1/2, 70-500 Szczecin, Poland*

2) *S. Spangenberg, P. Terndrup Pedersen, S. Valsgard, D. Olsen, 2007, Technical University of Denmark, Building 101E, DK-2800 Lyngby, Denmark  
Det Norske Veritas Classification AS, Oslo, Norway  
COWIconsult, DK-2800 Lyngby, Denmark  
and Great Belt Link Ltd, DK-1601 Copenhagen, Denmark*

3) *Shengming Zhang, Plate tearing and bottom damage in ship grounding, Lloyd's Register of Shipping, UK.*

4) *P. Terndrup Pedersen , Shengming Zhang, 2000, Effect of ship structure and size on grounding and collision damage distributions  
Department of Naval Architecture and Offshore Engineering, Technical University of Denmark, Building 101E, DK-2800 Lyngby, Denmark.*

5) *Manolis S. Samuelides , Nikolaos P. Ventikos Study of grounding incidents: description of contact and frequency of occurrence, School of Naval Architecture and Marine Engineering, National Technical University of Athens.*

6) *V.H.M. Ligthart 1979, "Determination of probability and of risk of marine accidents with respect to gas carriers proceeding in dutch coastal and inland waters", Netherlands Maritime Inetitute, Navigation Research Centre.*







*1.3 Κάποια οπτικά παραδείγματα εφαρμογής της παραπάνω θεωρίας της ΚΕ και της επίδρασης αυτής (ΚΕ) στο μέγεθος των υλικών ζημιών του εμπλεκόμενου σε ατύχημα πλοίου παρατίθενται παρακάτω:*

© Προσάραξη ενός μονόγαστρου τάνκερ. Εκλυόμενη ενέργεια 1900MJ



© Προσάραξη ενός LNG tanker. Εκλυόμενη Ενέργεια 4200MJ





Ⓢ Για το μονόγαστρο τάνκερ που πρασάραξε στη Σιγκαπούρη το 1975:

Υποτίθεται ότι η επιπρόσθετη μάζα είναι  $5\%M$  Άρα  $E_0=1/2 * M * (1+0.05) * V^2 = 5015MJ$ . Υποτίθεται ότι όλη η αρχική κινητική ενέργεια του τάνκερ "εκλύεται" καταστρέφοντας όλη την δομή του πυθμένα. Το πραγματικό μήκος ζημιάς είναι περίπου 180 m. Συνεπώς η μέση οριζόντια δύναμη πρασάραξης στο ατύχημα είναι περίπου  $F=5015/180=27.9 MN$ .

The main particulars of the single-hull oil tanker which grounded in 1975	
Name	Data
Length between perpendiculars (m)	304.0
Breadth molded (m)	52.4
Depth molded (m)	25.7
Draft (m)	19.8
Displacement (ton)	273,000
Grounding speed (knots)	11.5
Flow stress of material (N/mm <sup>2</sup> )	300.0

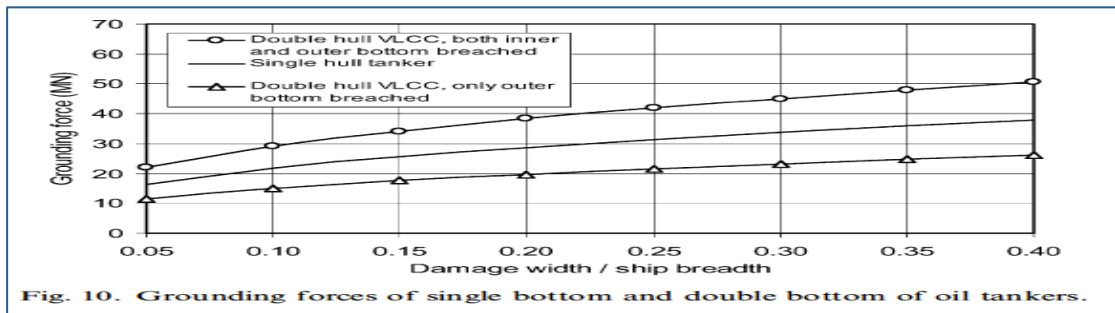


Fig. 10. Grounding forces of single bottom and double bottom of oil tankers.

Ⓢ Σύγκρουση. Τάνκερ με  $DWT=105784tons$   $V=13kn$   $K=10562.5MJ$ .





© Σύγκρουση. 18000 barrels  $V=12\text{kn}$  Γενικού φορτίου  $K=300,672\text{MJ}$



© Σύγκρουση.  $K=5000\text{MJ LNG}$







Ανάλυση ατυχημάτων ναυσιπλοΐας στο Αιγαίο Πέλαγος

© *K=4313.725MJ Bulk Carrier*



© *K=558,377MJ RO-RO-Ferry*





### 1.4 Κατανομή Poisson

Για τον υπολογισμό της πιθανότητας να συμβεί ατύχημα στις τρεις ζώνες χρησιμοποιήσαμε κατανομή Poisson, λόγω του ότι είναι τυχαία, ανεξάρτητα και σπάνια γεγονότα (τα ατυχήματα). Συγκεκριμένα, όταν σε μια τυχαία διωνυμική μεταβλητή  $X$  το γεγονός που μελετάται έχει πολύ μικρή πιθανότητα «επιτυχίας»  $p$ , ενώ επιπλέον το πλήθος  $n$  των δοκιμών που χρησιμοποιούνται είναι πολύ μεγάλο, τότε η χρήση της διωνυμικής κατανομής δεν εξυπηρετεί για τον υπολογισμό της κατανομής πιθανότητας της τυχαίας μεταβλητής  $X$ .

Στις περιπτώσεις αυτές η διωνυμική κατανομή προσεγγίζεται πολύ καλά από μια άλλη θεωρητική κατανομή την κατανομή Poisson. Η κατανομή Poisson χρησιμοποιείται ως θεωρητικό υπόδειγμα για τη μελέτη τυχαίων γεγονότων που συμβαίνουν σπάνια στο χώρο ή στο χρόνο και για το λόγο αυτό ονομάζεται και κατανομή των σπάνιων γεγονότων.

*Π.χ. Προσδιορισμός του αριθμού των τροχαίων ατυχημάτων ανά μήνα σε μία χώρα ή σε ένα κομμάτι της εθνικής οδού, του αριθμού των τυπογραφικών λαθών στην έκδοση ενός βιβλίου, του αριθμού των αυτοκινήτων που φθάνουν σε ένα γκαράζ για επισκευή σε μία ώρα.*

Επίσης, η κατανομή Poisson έχει ορισμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες:

1. Ο αριθμός των επιτυχιών που συμβαίνουν σε ένα διάστημα είναι ανεξάρτητος από τον αριθμό των επιτυχιών που συμβαίνουν σε ένα άλλο διάστημα.
2. Η πιθανότητα μιας επιτυχίας σε ένα διάστημα είναι η ίδια για όλα τα ισομήκης διαστήματα
3. Η πιθανότητα να συμβεί ένα απλό γεγονός σε ένα διάστημα του χρόνου ή του χώρου είναι ανάλογη με το μέγεθος του συγκεκριμένου διαστήματος.
4. Μέσα σε ένα συγκεκριμένο διάστημα του χρόνου ή του χώρου είναι δυνατό να προκύψει, θεωρητικά, ένα απεριόριστο πλήθος γεγονότων.

*Λίγα ακόμα πράγματα για την κατανομή Poisson...*

Στη θεωρία της στατιστικής και των πιθανοτήτων, η κατανομή Poisson είναι μια διακριτή κατανομή πιθανότητας η οποία εκφράζει την πιθανότητα ενός αριθμού γεγονότων να προκύψουν σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα εάν αυτά τα γεγονότα συμβαίνουν με μια γνωστή συχνότητα και είναι ανεξάρτητα από το χρόνο από το τελευταίο γεγονός.

Είναι οριακή μορφή της Διωνυμικής Κατανομής όταν η πιθανότητα εμφάνισης του ενδεχομένου είναι μικρή και ο αριθμός των επαναλήψεων μεγάλος.





Ο τύπος της κατανομής του Poisson είναι :

$$P(x) = P(x = x) = \frac{e^{-\lambda} \cdot \lambda^x}{x!}$$

όπου  $x=0,1,2,\dots$  ο αριθμός εμφάνισης του ενδεχομένου (τυχαία μεταβλητή) και  $\lambda$  ο μέσος όρος της κατανομής.

Χαρακτηριστικά της κατανομής Poisson:

- α) αναμενόμενη τιμή  $E(x)=\lambda$ ,
- β) διακύμανση  $var(x)=\lambda$ ,
- γ) συντελεστής ασυμμετρίας  $=B=1/\lambda$ ,
- δ) συντελεστής κύρτωσης  $=B2=3+1/\lambda$

Η κατανομή Poisson έχει εφαρμογή σε καταστάσεις με ενδεχόμενα τα οποία συμβαίνουν ανεξάρτητα στο χώρο και στο χρόνο.

### 1.5 Στοχαστική διαδικασία Poisson

Γενικώς, μια διαδικασία Poisson είναι μια στοχαστική διαδικασία (δηλαδή ένα σύνολο από τυχαίες μεταβλητές  $\{N(t), t \in T\}$  όπου  $N(t)$  είναι ο αριθμός των γεγονότων που έχουν συμβεί έως τον χρόνο  $t$ ) συνεχούς χρόνου (δηλαδή το  $T$  είναι μη αριθμήσιμο, τείνει στο  $\infty$ ), όπου οι παρατηρούμενες μεταβλητές είναι τυχαίοι χρόνοι, στους οποίους γεγονότα μπορούν να συμβούν.

**Ορισμός:** Μια διαδικασία Poisson με συχνότητα  $\lambda$  είναι μια στοχαστική διαδικασία συνεχούς χρόνου  $N=\{N(t): t \geq 0\}$ , η οποία παίρνει τιμές στο  $S=\{0, 1, 2, \dots\}$  και είναι τέτοια ώστε:

$$P(N(t+h)=n+m | N(t)=n) = \begin{cases} \lambda \cdot h + o(h) & \text{αν } m = 1 \\ o(h) & \text{αν } m > 1 \\ 1 - \lambda \cdot h + o(h) & \text{αν } m = 0 \end{cases}$$

$$P(N(0)=0, \text{ και αν } s < t, \text{ τότε } N(s) < N(t))$$

$$P(\text{Ερμηνεύοντας τις τυχαίες μεταβλητές } N \text{ σαν χρόνους αφίξεων } N(t)-N(s) \text{ στο χρονικό διάστημα } (s,t] \text{ είναι ανεξάρτητες από τις αφίξεις } N(\tau) \text{ για } \tau \in (s,t].$$

Η διαδικασία αυτή βασίζεται στο ότι τα ατυχήματα είναι μεμονωμένα γεγονότα και η γένεση του ενός δεν επηρεάζει την γένεση των υπολοίπων. Εάν  $\lambda$  είναι ο μέσος αριθμός εμφάνισης ατυχημάτων σε ένα χρονικό διάστημα  $t$ , η πιθανότητα  $n$  ατυχήματα να γίνουν μέσα σ' αυτό το χρονικό διάστημα είναι:

$$P(N = n, t) = \frac{(\lambda \cdot t)^n \cdot e^{-\lambda t}}{n!}$$



### 1.6 Τυχαίες Μεταβλητές

Τυχαία μεταβλητή είναι κάθε μετασχηματισμός που απεικονίζει κάθε στοιχειώδες ενδεχόμενο ενός πειράματος τύχης σε ένα πραγματικό αριθμό. Οι τυχαίες μεταβλητές χωρίζονται σε διακριτές και συνεχείς.

Έστω μία τυχαία μεταβλητή  $x$  η οποία παίρνει τιμές  $x_1, x_2, \dots, x_n$  με πιθανότητες  $P(x_1), P(x_2), \dots, P(x_n)$  αντίστοιχα. Η συνάρτηση πιθανότητας της τυχαίας μεταβλητής  $x$  είναι η συνάρτηση  $F(x) = R(x) = P(x \leq x)$ , αν ικανοποιεί τις συνθήκες:  $F(x) > 0$   
 $\sum F(x) = 1$ . Η συνάρτηση  $F(x) = P(x < x) = \sum F(x_i)$  λέγεται συνάρτηση κατανομής της  $x$ . Στη δικιά μας περίπτωση τα ατυχήματα είναι τυχαίες διακριτές μεταβλητές καθώς πληρούν τις παραπάνω προδιαγραφές.

### 1.7 Εισαγωγή στη σεισμολογία

#### 1.7.1 Μοντέλα Σεισμολογίας

- ☉ ΜΕΣΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΣΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΕΙΣΜΙΚΟ ΤΟΞΟ (ΠΑΠΑΖΑΧΟΣ)
- ☉ ΚΑΤΑΝΟΜΗ POISSON-ΣΧΕΣΗ RICHTER-GUTENBERG



*Σχήμα 4: Εστίες σεισμών στην Ελλάδα*





## ΜΕΣΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗ

### *Εισαγωγή*

Ο Παπαζάχος (1981) έχει δείξει ότι η διακύμανση με το χρόνο της διαφοράς  $D_1$ , μεταξύ του μεγέθους, ( $M_0 \geq 6,4$ ) του κύριου σεισμού και του μεγέθους,  $M_1$  του μεγαλύτερου μετασεισμού μπορεί να θεωρηθεί σαν προμήνυμα μεγάλων σεισμών ( $M \geq 6,5$ ) στο ελληνικό σεισμικό τόξο. Στο παρόν κείμενο, αυτή η μέθοδος, την αναφέρουμε ως  $D_1$  μέθοδο, αναπτύσσεται λεπτομερώς και εφαρμόζεται στην πρόβλεψη σεισμών με  $M \geq 7$ . Επιπλέον, η μέθοδος της σεισμικής ηρεμίας εφαρμόζεται για τη μακροπρόθεσμη και μεσοπρόθεσμη πρόγνωση των μεγάλων σεισμών.

### Υπόθεση στην οποία βασίζεται η $D_1$ μέθοδος

Η διαφορά,  $D_1$ , στο μέγεθος μεταξύ των κύριων επιφανειακών σεισμών και των μεγαλύτερων μετασεισμών αυτών σε μια περιοχή μπορεί να διαφέρει πολύ και μόνο η μέση τιμή της είναι ίση με περίπου 1,2 όπως προτείνεται από το Bath (Richter 1958).

Ο Okada (1979), βασισμένος στην βάση δεδομένων που αφορούσαν σεισμικές ακολουθίες στην Ιαπωνία και Ελλάδα, έχει δείξει ότι το  $D_1$  σχετίζεται με την παράμετρο  $b$  της σχέσης μεγέθους-συχνότητας των Gutenberg-Richter (όταν το  $b$  μειώνεται το  $D_1$  αυξάνεται).

Από την άλλη μεριά έχει αποδειχτεί ότι το  $b$  εξαρτάται από τις συνθήκες τάσης και από την ομοιογένεια του υλικού στην περιοχή της εστίας. Επίσης, κάποια σχέση φαίνεται να υφίσταται μεταξύ των  $D_1(t)$  και του χρόνου εμφάνισης μεγάλων σεισμών σε μια τεκτονικά ομογενή περιοχή. Μια τέτοια σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη μακροπρόθεσμων και μεσοπρόθεσμων προβλέψεων μεγάλων σεισμών. Αυτή είναι η βασική υπόθεση στην οποία βασίζεται η μέθοδος  $D_1$ .

### Η Χρησιμοποιούμενη βάση δεδομένων για τον προσδιορισμό του $D_1$

Ο Πίνακας 1, βασισμένος σε υπάρχοντες καταλόγους, περιέχει όλη τη βάση δεδομένων η οποία έχει χρησιμοποιηθεί για να προσδιορισθεί το  $D_1(t)$  και η σχέση του με το χρόνο εμφάνισης των ισχυρών σεισμών στο ελληνικό σεισμογενές τόξο. Περιέχει παραμέτρους των κύριων με  $M_0 \geq 5,6$  και τα μεγέθη των μεγαλύτερων σεισμών. Επίσης, περιλαμβάνει παραμέτρους για όλους τους προσεισμούς και για όλους τους μετασεισμούς με  $M \geq 6,5$  και για όλους τους σεισμούς με μέσο εστιακό βάθος ( $h > 60\text{km}$ ) με  $M \geq 7,0$  οι οποίοι εμφανίστηκαν στο ελληνικό τόξο κατά την περίοδο 1920-1980.

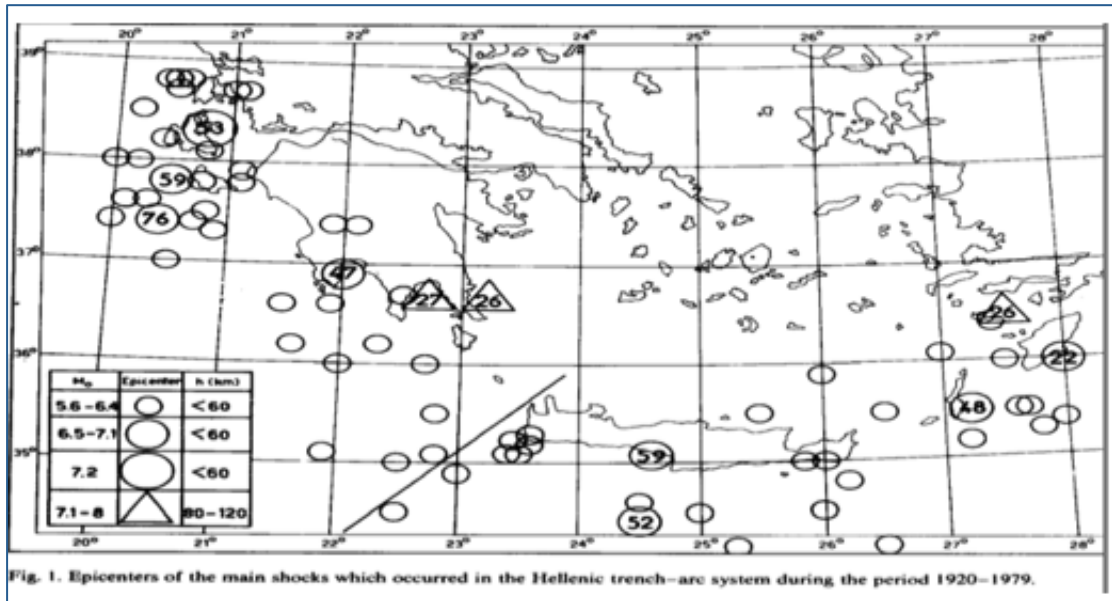


Ανάλυση ατυχημάτων ναυσιπλοΐας στο Αιγαίο Πέλαγος

TABLE I  
Information on the main shocks and their largest aftershocks which occurred in the Hellenic trench between 1920 and 1979

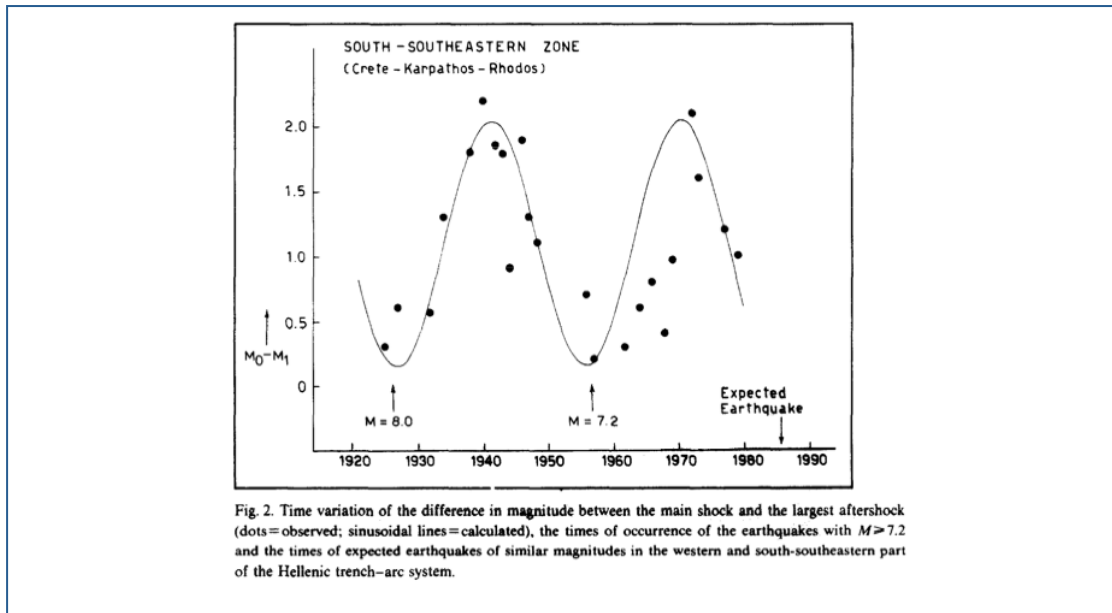
Date	Origin time	$\phi(^{\circ}\text{N})$	$\lambda(^{\circ}\text{E})$	$h$ (km)	$M_0$	$M_1$
1921, Sept. 13	08:59:53	38.7	21.2	n	6.0	5.4
1922, June 5	04:31:05	35.0	22.5	n	5.9	5.5
1922, Aug. 13	00:09:50	36.0	28.0	n	6.8	5.9
1922, Nov. 4	04:20:12	37.0	20.5	n	5.9	5.6
1925, Feb. 7	12:14:58	37.0	19.0	n	5.6	4.8
1925, Apr. 5	03:04:25	35.5	29.0	n	5.9	5.6
1926, Feb. 26	16:08:23	37.8	21.1	n	5.7	4.2
1926, Mar. 18	14:06:06	35.5	29.0	n	6.8	5.7
1926, June 26	19:46:34	36.5	27.5	100	8.0	-
1926, Aug. 30	11:38:12	36.8	23.3	120	7.2	-
1926, Sept. 19	01:03:57	36.0	22.0	n	6.3	5.3
1927, Mar. 24	14:46:35	35.0	26.0	n	5.6	5.0
1927, June 30	22:59:36	38.7	21.0	n	5.6	4.5
1927, July 1	08:18:54	36.7	22.7	80	7.1	-
1932, June 29	02:30:06	35.5	27.6	n	5.6	5.4
1932, Sept. 30	06:12:16	36.0	22.7	n	5.6	3.5
1932, Oct. 23	13:36:43	35.5	27.6	n	5.6	4.7
1934, Feb. 21	11:37:20	34.5	22.5	n	5.6	4.3
1938, Feb. 10	20:37:53	34.8	26.2	n	5.6	3.8
1938, Mar. 13	17:45:32	38.8	20.6	n	5.8	3.8
1940, Feb. 29	16:07:44	35.5	25.5	n	6.0	3.8
1942, June 16	04:47:30	33.8	26.5	n	5.8	3.9
1942, Sept. 1	09:42:15	36.4	27.4	n	5.8	4.0
1943, Feb. 14	07:28:14	38.0	20.0	n	5.8	5.0
1943, June 27	10:05:27	35.0	26.0	n	5.7	3.9
1943, July 22	07:09:28	38.8	20.6	n	5.6	5.0
1944, May 27	23:52:25	36.0	27.5	n	6.2	4.8
1944, July 20	10:37:20	35.5	26.5	n	5.6	5.2
1944, July 30	04:00:35	36.7	22.5	n	5.8	4.6
1946, July 16	05:26:26	33.8	25.3	n	5.9	4.0
1947, June 1	11:18:35	36.6	21.5	n	5.7	4.2
1947, Aug. 30	22:21:31	35.1	23.4	n	6.3	5.0
1947, Sept. 13	15:11:17	37.4	20.0	n	5.6	4.9
1947, Oct. 6	19:55:34	36.9	22.0	n	7.0	5.0

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Σεισμικός Κατάλογος για το ελληνικό τόξο 1920-1979

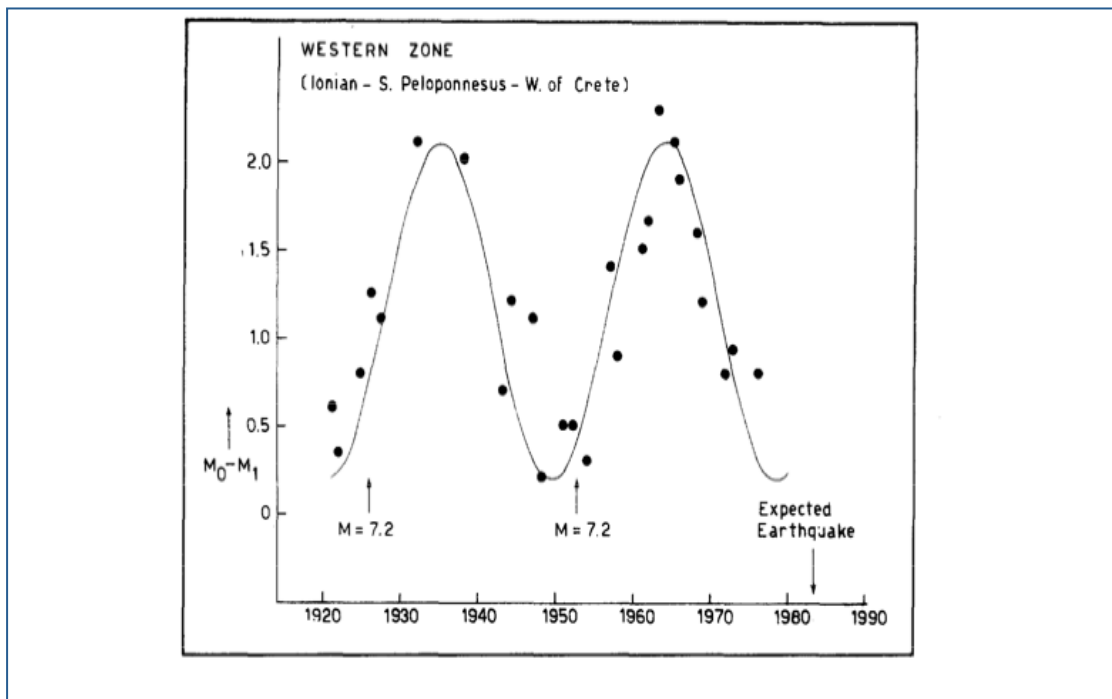


Σχήμα 5: Εστίες σεισμών δυτικά της Ελλάδος





Σχήμα 6: Μεταβολή της διαφοράς του μεγέθους του μεγαλύτερου σεισμού και του μεγαλύτερου μετασεισμού με τα έτη ΝΑ Ελλάδος



Σχήμα 7: Μεταβολή της διαφοράς του μεγέθους του μεγαλύτερου σεισμού και του μεγαλύτερου μετασεισμού με τα έτη ΝΑ Ελλάδος

Τα λάθη στο μέγεθος είναι του εύρους  $\pm 0.2$ . Η χρονική διαφορά μεταξύ του κύριου σεισμού και του μεγαλύτερου μετασεισμού είναι λιγότερο από δύο μήνες και η χιλιομετρική απόσταση των epicenters τους να είναι λιγότερο από 50 Km.





Τα επίκεντρα των κύριων σεισμών αναγράφονται στον Πίνακα 1 και φαίνονται στο χάρτη του Σχήματος 5. Τέσσερα σύμβολα έχουν χρησιμοποιηθεί για να δηλώσουν τέσσερα μεγέθη και το εύρος δύο εστιακών βαθών. Οι κύκλοι υποδηλώνουν επίκεντρα των επιφανειακών κύριων σεισμών ( $h < 60 \text{ km}$ ) και τρίγωνα- επίκεντρα των τριών ενδιάμεσων ( $h = 80-120 \text{ km}$ ) σεισμών. Μικροί, μεσαίοι και μεγάλοι κύκλοι χρησιμοποιούνται για επιφανειακούς κύριους σεισμούς στα εύρη 5.6-6.4, 6.5-7.1, και 7.2 αντίστοιχα. Τα νούμερα που συμπεριλαμβάνονται στα σύμβολα των σεισμών με  $M \geq 6.5$  είναι τα δύο τελευταία ψηφία της χρονιάς εμφάνισης των.

Το χρονοδιάγραμμα του  $D_I$  και ο χρόνος εμφάνισης των ισχυρών σεισμών στο ελληνικό σεισμικό τόξο

Για να εξετάσουμε το σχέδιο της χρονικής διακύμανσης της διαφοράς  $D_I = M_o - M_1$  μεταξύ του μεγέθους του κύριου σεισμού και αυτού του μεγαλύτερου μετασεισμού, χρησιμοποιούμε μόνο διαφορές με  $M_o < 6.4$  λόγω του γεγονότος ότι η δημιουργία των μεγαλύτερων σεισμών επηρεάζει το επίπεδο τάσεων. Όμως, ο υπολογισμός του  $D_I(t)$  με διαφορετικές τιμές για το άνω όριο του  $M_o$  δείχνει ότι το σχέδιο του  $D_I(t)$  το οποίο καθορίζεται εδώ δεν είναι ευαίσθητο στο άνω όριο του  $M_o$  και για αυτό η σταθερότητα εξασφαλίζεται.

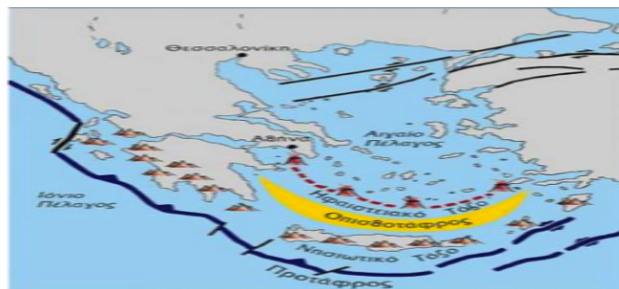
Τιμές των διαφορών στο μέγεθος μεταξύ των κύριων σεισμών και του μεγαλύτερου μετασεισμού για  $M_o < 6.4$  σχεδιάζονται σε σχέση με το χρόνο εμφάνισης στο άνω και κάτω μέρος τμήμα του Σχήματος 6 για την Δυτική και Νοτιανατολική αντίστοιχα. Για τα χρόνια στα οποία δύο ή περισσότερες  $D_I$  τιμές είναι διαθέσιμες, η μέση τιμή σχεδιάζεται.

Η βάση δεδομένων δείχνει, σχεδόν αρμονικές κατανομές και για τις δύο ζώνες. Για αυτό το λόγο οι σχέσεις της μορφής (παρατίθεται η εικόνα του ελληνικού τόξου):

$$D_I = \overline{D_I} + D_o \sin\left(\frac{360}{T} t + \varphi\right) \quad (1)$$

$$\text{Western Zone: } D_I = 1.15 + 0.96 \sin\left(\frac{360}{29} t - 96\right) \quad (2)$$

$$\text{South-Southeastern Zone: } D_I = 1.10 + 0.95 \sin\left(\frac{360}{29} t - 174\right) \quad (3)$$







υποτίθεται ότι ταιριάζουν με τη βάση δεδομένων. Το  $D_0$  είναι η μέση τιμή των τεσσάρων μεγαλύτερων απολύτων τιμών  $D_1$  για κάθε ζώνη,  $T$  είναι η περίοδος και  $\phi$  είναι η φάση που καθορίζεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να ταιριάζει καλύτερα στη μέθοδο-αίσθηση των ελαχίστων τετραγώνων. Οι επόμενες δύο σχέσεις έχουν βρεθεί, με τον χρόνο να μετράται από το 1920.

Στις δύο περιπτώσεις η περίοδος είναι 29 χρόνια. Οι καμπύλες που βασίζονται στις Εξιιώσεις 2 και 3 φαίνονται στο Σχήμα 6. Η τετραγωνική ρίζα των μέσων τετραγώνων της διαφοράς μεταξύ των παρατηρούμενων και υπολογισμένων τιμών του  $D_1$  είναι ίση με 0.32 και 0.55 για τη δυτική και νοτιανατολική ζώνη αντίστοιχα. Στο σχήμα 6, φαίνονται οι φορές εμφάνισης των μεγαλύτερων επιφανειακών και ενδιάμεσων σεισμών. Είναι τέσσερις σεισμοί, δύο σε κάθε ζώνη, οι οποίοι έχουν μέγεθος  $M > 7.2$ . Επαναλαμβάνονται σε κάθε μία από τις δύο ζώνες περίπου κάθε τριάντα χρόνια και ξεκάθαρα σχετίζονται με τις ελάχιστες τιμές των  $D_1(t)$  καμπυλών. Από αυτούς τους σεισμούς, δύο ήταν επιφανειακοί με  $M = 7.2$  και ο πρώτος εμφανίστηκε στην δυτική ζώνη και ο δεύτερος στη νοτιανατολική. Αν και, τοποθετούνται σχεδόν στα τελικά σημεία του Ελληνικού τόξου, οι εστιακοί μηχανισμοί τους είναι τυπικοί για τα δυτικά και ανατολικά μέρη, αντίστοιχα, της κυρτής πλευρά του τόξου.

Στη δυτική ζώνη υπάρχει μια καθυστέρηση στον χρόνο εμφάνισης και των δύο σεισμών σε σχέση με το αντίστοιχο ελάχιστο του  $D_1$  καμπύλη. Ο πρώτος σεισμός εμφανίστηκε 6,2 χρόνια μετά το πρώτο ελάχιστο και ο δεύτερος σεισμός εμφανίστηκε μετά από 4.1 μετά από το δεύτερο ελάχιστο. Το υπολογισμένο  $D_1(t)$  δείχνει ότι το τρίτο ελάχιστο έχει ήδη φτάσει το 1979, και ως εκ τούτου, εάν η περιοδικότητα πρόκειται να επαναληφθεί ο επόμενο σεισμός με  $M > 7,2$  θα πρέπει να αναμένεται στη δυτική ζώνη μεταξύ του 1983 και 1985. Από τη στιγμή που υποθέσουμε ένα σφάλμα της τάξης του 0.2 στο μέγεθος πρέπει να εξετάσουμε τη στιγμή εμφάνισης των σεισμών με μεγέθη 7,0 και 7,1 σε σχέση με το ελάχιστο του  $D_1(t)$ . Κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου εμφανίστηκε ένας ενδιάμεσος σεισμός της τάξεως του 7.1 τον Ιούλιο του 1927, δηλαδή 7.1 χρόνια μετά το πρώτο μέγιστο του  $D_1(t)$  και ένας επιφανειακός σεισμός της τάξεως των  $M = 7,0$  τον Οκτώβριο του 1947 δηλαδή 1,7 χρόνια πριν από το δεύτερο ελάχιστο του  $D_1(t)$ . Συνεπώς ακόμα και αυτοί οι σεισμοί σχετίζονται με τις ελάχιστες τιμές του  $D_1(t)$ . Αυτός είναι ο λόγος που συμπεριλάβαμε όλους τους ενδιάμεσους με  $M > 7.0$  στον Πίνακα 1. Επίσης αυτοί οι σεισμοί παράγονται-προκαλούνται με τον ίδιο μηχανισμό όπως οι επιφανειακοί σεισμοί κατά μήκος της κυρτής πλευράς του Ελληνικού τόξου.

Στη νότια-νοτιανατολική ζώνη οι φορές εμφάνισης των δύο μεγάλων σεισμών είναι κοντά στις φορές των ελαχίστων της  $D_1(t)$  καμπύλης. Ο πρώτος σεισμός εμφανίστηκε 0.2 χρόνια πριν το πρώτο ελάχιστο και ο δεύτερος σεισμός εμφανίστηκε 1.6 χρόνια μετά το δεύτερο ελάχιστο. Εάν η περιοδικότητα επαναλαμβάνεται, το τρίτο ελάχιστο θα είναι το 1985 και ο επόμενος σεισμός με  $M > 7.2$  θα





εμφανιστεί στην νότια-νοτιανατολική ζώνη μεταξύ των 1985 και 1987. Ένας σεισμός του  $M=7.1$  εμφανίστηκε το 1948 κάτι το οποίο είναι 7.7 χρόνια πριν από το δεύτερο ελάχιστο του  $D_1(t)$ .

Εάν λάβουμε υπ' όψη τις παραπάνω παρατηρήσεις και υποθέσεις όπως και το γεγονός ότι στο παρελθόν, οι μεγαλύτεροι σεισμοί προηγήθηκαν και ακολουθήθηκαν από άλλους δυνατούς σεισμούς, μπορούμε να καταλήξουμε ότι μια περίοδο ισχυρής σεισμικής δραστηριότητας πολλών ετών αναμένεται να ξεσπάσει σύντομα κατά μήκος του Ελληνικού τόξου με σεισμούς μεγέθους έως 7.2 κατά την περίοδο 1983-1987.

Λαμβάνοντας υπ' όψη την παρατήρηση ότι οι μεγάλοι σεισμοί εμφανίζονται κοντά στο ελάχιστο της καμπύλης  $D_1(t)$  μπορούμε να υποθέσουμε ότι, ενώ οι υποπερίοδοι (14.5 χρόνια) της αύξησης του  $D_1(t)$  είναι κυρίως φορές –περίοδοι συσσώρευσης τάσεων, οι υποπερίοδοι της μείωσης του  $D_1(t)$  είναι κυρίως περίοδοι προετοιμασίας για την γενίκευση των μεγαλύτερων σεισμών.

Κατανομή της συχνότητας μεγεθών Σχέση Gutenberg – Richter-Κατανομή Poisson (Μοντέλο 2<sup>ο</sup>)

Ένας από τους σημαντικότερους στατιστικούς νόμους στη Σεισμολογία χρησιμοποιείται για να περιγράψει την κατανομή των σεισμικών μεγεθών σε μια περιοχή. Προτάθηκε από τους Gutenberg – Richter το 1941 μετά από μελέτη της σεισμικότητας στην Καλιφόρνια. Οι Gutenberg – Richter βρήκαν ότι ο αριθμός των σεισμών  $n(M)$  μεγέθους  $M$   $\Delta M$  σε μια περιοχή και για χρονικό διάστημα  $k$  ετών, εκφράζεται από την εμπειρική σχέση  $\log n(M)=a-bM$  Ο Utsu το 1961 έδειξε ότι είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται ο αριθμός των σεισμών με μέγεθος ίσο ή μεγαλύτερο από  $M$  (δηλ. η συσσωρευτική συχνότητα)

$$\log Nk(M)=ak-bM \quad N(M)=\sum n(M)dm \quad \text{Συσσωρευτική συχνότητα.}$$

Όσο αυξάνεται το μέγεθος μειώνεται ο αριθμός των σεισμών σε μία περιοχή.

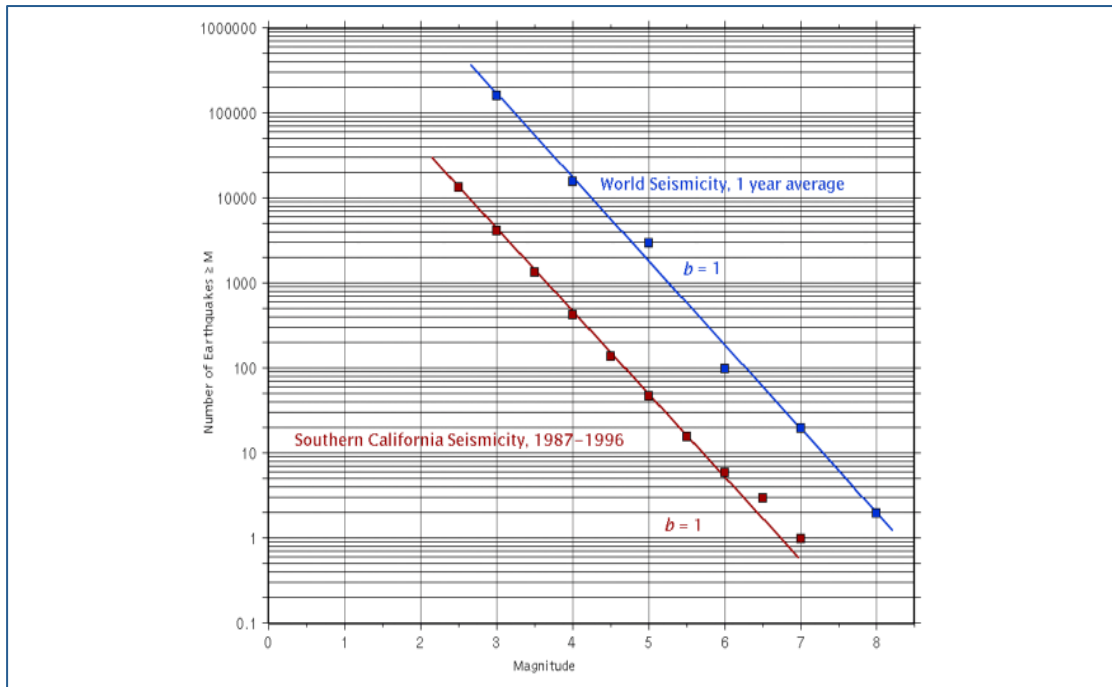
Gutenberg-Richter:  $\log N=a-bM$

- Ⓢ Ν αριθμός σεισμών ίσων ή μεγαλύτερων από  $M$
- Ⓢ  $a, b$  σταθερές
- Ⓢ  $a, b$  υπολογίζονται από τους σεισμικούς καταλόγους

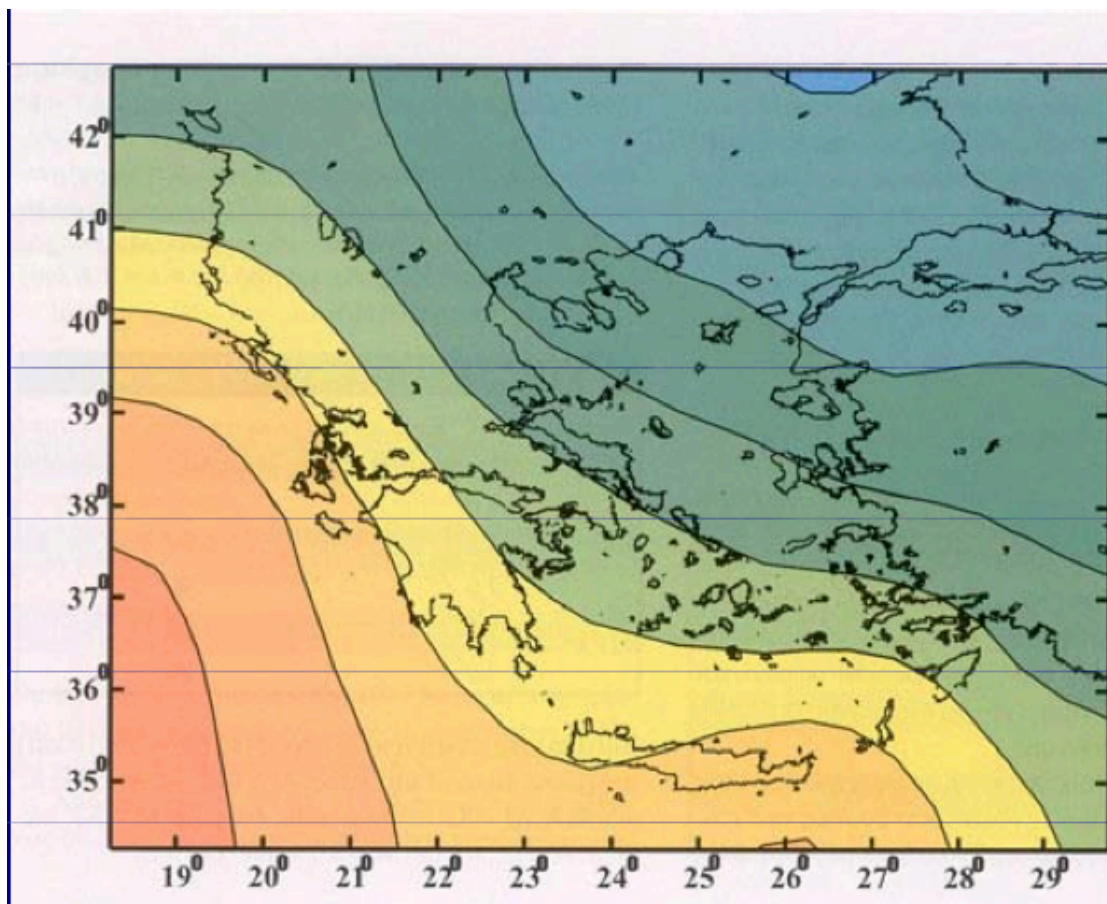




Ανάλυση ατυχημάτων ναυσιπλοΐας στο Αιγαίο Πέλαγος



Σχήμα 8: Διάγραμμα  $\log(N)=a-b \cdot M$  για Καλιφόρνια



Σχήμα 9: Κατανομή του b στην Ελλάδα



### 1.7.2 Μέτρα Σεισμικότητας

Τα χρησιμοποιούμενα ευρέως μέτρα είναι:

- ⊗ το σύνολο της σεισμικής ενέργειας
- ⊗ ο αριθμός των σεισμών πάνω από ορισμένο μέγεθος
- ⊗ ο αριθμός των σεισμών που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένο μέγεθος
- ⊗ το  $M_{max}$
- ⊗ η μέση περίοδος επανάληψης
- ⊗ ο μέσος ετήσιος αριθμός των σεισμών που συμβαίνουν σε μια περιοχή και έχουν μέγεθος  $M$  η μεγαλύτερο
- ⊗ το συχνότερα παρατηρούμενο μέγεθος σε  $t$  ετη

Θα προσπαθήσουμε στη διπλωματική αυτή να βρούμε τα αντίστοιχα μεγέθη για τα ναυτικά ατυχήματα στο Αιγαίο που έχουν συμβεί στις προαναφερθείσες ζώνες στο διάστημα 1999-2009.

Η σεισμικότητα μπορεί να είναι:

- ⊗ ΠΟΙΟΤΙΚΗ (χάρτες επικέντρων, κτλ.)
- ⊗ ΠΟΣΟΤΙΚΗ (μέτρα σεισμικότητας)

Για μία μελέτη σεισμικότητας τα δεδομένα μας πρέπει να έχουν:

- ⊗ ακρίβεια (δίνονται κατάλογοι από κέντρα)
- ⊗ ομοιογένεια (ίδια κλίμακα μεγεθών)
- ⊗ πληρότητα (να υπάρχουν όλοι οι σεισμοί πάνω από ορισμένο όριο μεγέθους)

όταν υπολογιστούν το  $a$  και το  $b$  υπολογίζονται εύκολα τα άλλα μέτρα σεισμικότητας π.χ. η μέση περίοδος επανάληψης  $T_m$ :

$$T_m = \frac{10^{bM}}{10^a} (1)$$





Για την ποσοτική εκτίμηση της σεισμικότητας μίας περιοχής χρησιμοποιούνται διάφορα μέτρα σεισμικότητας.

Κάποια ποσοτικά μέτρα σεισμικότητας είναι:

- ⊙ Η μέση περίοδος επανάληψης  $T_m$  (σε έτη) των σεισμών που έχουν μέγεθος  $M$  ή μεγαλύτερο και δίνεται από την σχέση (1).
- ⊙ Η πιθανότητα,  $P_t$ , να γίνει σεισμός μεγέθους  $M$  ή μεγαλύτερου κατά το χρονικό διάστημα  $t$ , υποθέτοντας χρονική κατανομή Poisson δίνεται από την σχέση:

$$P_t = 1 - e^{(-10^{(a-bM)} \cdot t)} \quad (2)$$

Το πιθανότερο μέγιστο μέγεθος σεισμού,  $M_t$ , σε χρόνο  $t$ , ετών δίνεται από την σχέση:

$$M_t = \frac{a}{b} + \frac{\log t}{b} \quad (3)$$

Η πιθανότητα  $P$  ώστε η περίοδος επανάληψης των σεισμών με μέγεθος  $M$  ή μεγαλύτερο, να είναι μεγαλύτερη από ορισμένη τιμή  $T$  δίνεται από την σχέση:

$$P = \exp\left(-\frac{T}{T_m}\right) \quad (4)$$

### 1.7.3 Η Επιλογή του μοντέλου σεισμολογίας

Μελετώντας όλες τις παραμέτρους και τις προϋποθέσεις εφαρμογής του κάθε μοντέλου καταλήγουμε στην επιλογή του δεύτερου μοντέλου το οποίο βασίζεται στη μέθοδο Richter-Gutenberg και Poisson. Η επιλογή αυτή έγινε με βάση τους περιορισμούς που υπάρχουν στο κάθε μοντέλο καθώς και τον ορίζοντα εφαρμογής των προβλεπόμενων αποτελεσμάτων (μεσοπρόθεσμα/μακροπρόθεσμα).

Ανασταλτικοί παράγοντες επιλογής του μοντέλου του κ. Παπαζάχου ήταν η εφαρμογή του μοντέλου για μεγάλους σεισμούς μεγέθους  $M > 6$  R, επίσης η παραδοχή ότι οι σεισμοί είναι εξαρτημένα γεγονότα δεν έβρισκε εφαρμογή στη δικιά μας περίπτωση των ναυτικών ατυχημάτων, ακόμα η εμπλοκή των μετασεισμών περιέπλεκε την εφαρμογή του στα ναυτικά ατυχήματα καθώς και ότι συνίσταται για μακροπρόθεσμη πρόβλεψη.



## 1.8 Λογιστική Παλινδρόμηση

### 1.8.1 Εισαγωγή στη Λογιστική Παλινδρόμηση

Το μοντέλο της Λογιστικής Παλινδρόμησης είναι το πιο σημαντικό μοντέλο για κατηγορικές μεταβλητές απόκρισης. Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των πιθανοτήτων να συμβεί ατύχημα.

Αρχικά είχε χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια βιοϊατρικών μελετών, όμως πλέον η χρήση του έχει επεκταθεί σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως κοινωνικές επιστήμες, μάρκετινγκ και πιο πρόσφατα στο χώρο των επιχειρήσεων.

Έστω  $Y_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) η απόκριση (δίτιμη) του  $i$  υποκειμένου του δείγματός μας και  $p_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) η αντίστοιχη πιθανότητα επιτυχίας ή εμφάνισης του υπό μελέτη χαρακτηριστικού για το  $i$ -στο υποκείμενο. Το μοντέλο της λογιστικής παλινδρόμησης συνδέει γραμμικά το λογάριθμο του odds της δίτιμης απόκρισης, που ονομάζεται *logit*, με τη μεταβλητή πρόβλεψη, τη  $X$ , δηλαδή:

$$\text{logit}(p_i) = \log\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_i, \quad i=1, 2, \dots, n \quad \text{σχέση 1}$$

Ισοδύναμα, το παραπάνω μοντέλο μπορεί να εκφραστεί ως προς τη πιθανότητα επιτυχίας  $p_i$ , ως

$$p_i = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 X_i)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 X_i)}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \text{σχέση 2}$$

#### Φυσική Ερμηνεία των Παραμέτρων $\beta_0$ και $\beta_1$

Η παράμετρος  $\beta_1$  και ο ρόλος της στη λογιστική παλινδρόμηση μπορεί να κατανοηθεί καλύτερα αν υψώσουμε στην  $e$  και τα δύο μέλη της (1), δηλαδή μέσω της σχέσης:

$$\frac{\hat{p}_i}{1-\hat{p}_i} = e^{\beta_0 + \beta_1 X_i}, \quad i=1, 2, \dots, n \quad \text{σχέση 3}$$

Έτσι, για δίτιμη μεταβλητή απόκρισης το odds της επιτυχίας ή εμφάνισης του χαρακτηριστικού είναι μια εκθετική συνάρτηση της ανεξάρτητης μεταβλητής  $X$  και μέσω της παραπάνω σχέσης παρέχεται μια φυσική ερμηνεία του  $\beta_1$ . Ο λόγος πιθανοτήτων (odds) αυξάνεται σε σχέση με τον όρο  $e^{\beta_1}$  για κάθε αύξηση μιας μονάδας του  $X$ .

Για παράδειγμα, αν για ένα μοντέλο ο λόγος  $\pi/(1-\pi)=2$  και το  $e^{\beta_1}=1.5$ , τότε μια αύξηση του  $x$  κατά μία μονάδα θα αυξήσει τον αρχικό λόγο κατά 50% (=1.5-1).





Ειδικότερα, αν η μεταβλητή  $X$  είναι και αυτή δίτιμη (π.χ. 1 για τη νέα αγωγή και 0 για την κλασική αγωγή), τότε  $e^{\beta^1}$  είναι το odds ratio που προκύπτει διαιρώντας το odds επιτυχίας:

$$\frac{\hat{p}_i}{1 - \hat{p}_i} = e^{\beta_0 + \beta_1 X_i}$$

για  $X=1$  (νέα θεραπεία) ως προς το odds επιτυχίας :

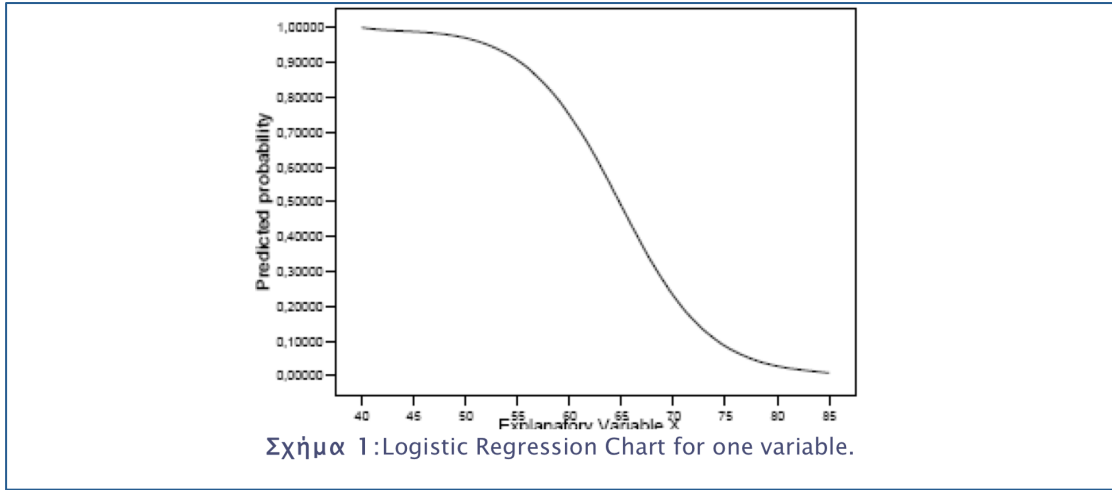
$$\frac{p_i}{1 - p_i} = e^{\beta_0 + \beta_1 X_i}$$

για  $X=0$  (κλασική θεραπεία) και τελικά έχουμε:

$$b_i = \log \left( \frac{\hat{p}_1 / (1 - \hat{p}_1)}{\hat{p}_0 / (1 - \hat{p}_0)} \right) \quad \text{σχέση 4}$$

Γραφικά, η έκφραση (2) είναι μια καμπύλη σχήματος S, όπου η πιθανότητα  $p_i$  ξεκινά από το μηδέν και προσεγγίζει το 1, όπως φαίνεται και στο σχήμα. Πριν τη προσαρμογή του μοντέλου και τη διατύπωση των σχετικών φυσικών ερμηνειών, καλό είναι να ελέγχουμε την καταλληλότητα του μοντέλου της λογιστικής παλινδρόμησης για τα δεδομένα μας.

Καθώς η  $Y$  παίρνει μόνο τις τιμές 1 και 0, αυτό δε μπορεί να γίνει μέσω της γραφικής παράστασης της  $Y$  ως προς τη  $X$  (όπως γίνεται στην παλινδρόμηση). Βοηθά η γραφική παράσταση (scatter plot) των δειγματικών ποσοστών επιτυχίας ή των logits ως προς τη  $X$ .



Σχήμα 10: Λογιστική παλινδρόμηση: μεταβολή της πιθανότητας ως προς μια εξαρτημένη μεταβλητή

1.8.2 Τα μειονεκτήματα της λογιστικής παλινδρόμησης και η ακαταλληλότητα της στην περίπτωση μας

Η λογιστική παλινδρόμηση μπορεί να υποεκτιμήσει κατά πολύ την πιθανότητα σπάνιων γεγονότων. Για να το αποδείξουμε θεωρούμε την ειδική περίπτωση με ένα σταθερό όρο και μια εξηγηματική μεταβλητή και με  $\beta_0$  εκτιμώμενο και  $\beta_1=1$ , σταθερό:  $\Pr(Y_i = 1) = 1/(1 + e^{-(\beta_0 + X_i)})$ .

Για την περίπτωση αυτή, μια καλή εκτίμηση της απόκλισης  $\widehat{\beta_0}$  σχέση βασίζεται στο McCullagh's (1987) όπου

$$\bar{\pi} = 1/n \cdot \sum_{i=1}^n \pi_i$$

Όπου n: αριθμός γεγονότων

Είναι:

$$E(\hat{\beta}_0 - \beta_0) \approx \frac{\bar{\pi} - 0.5}{n \cdot \bar{\pi} \cdot (1 - \bar{\pi})}$$

Από τη στιγμή που  $\bar{\pi} < 0.5$  για σπάνια γεγονότα ο αριθμητής και συνεπώς όλος ο όρος είναι αρνητικός.

Αυτό σημαίνει ότι  $\widehat{\beta_0}$  είναι πολύ μικρός όρος και σαν αποτέλεσμα το  $\Pr(Y = 1)$  υποεκτιμάται.







*Ανάλυση ατυχημάτων ναυσιπλοΐας στο Αιγαίο Πέλαγος*

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΑΙΓΑΙΟ** **ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1999-2009**

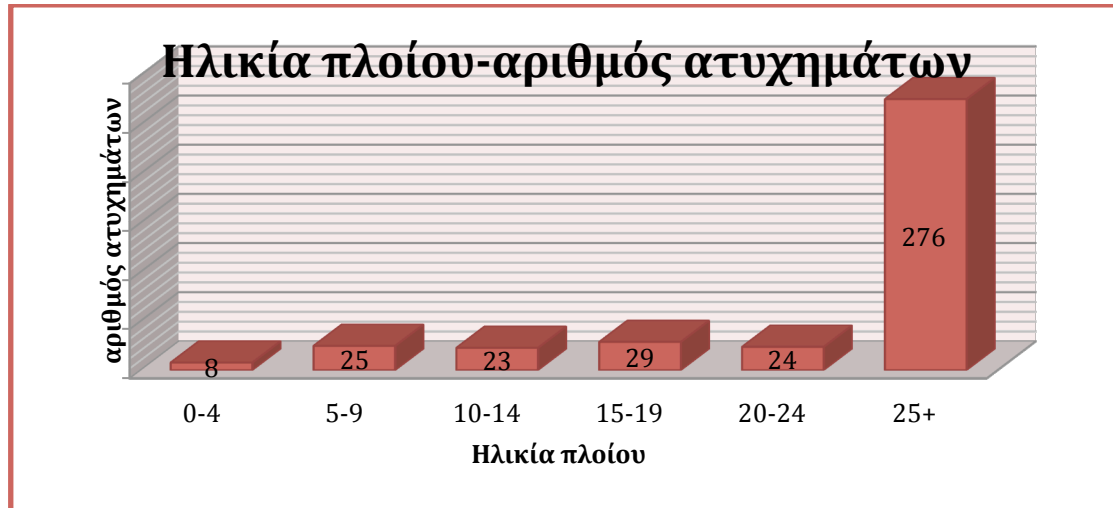




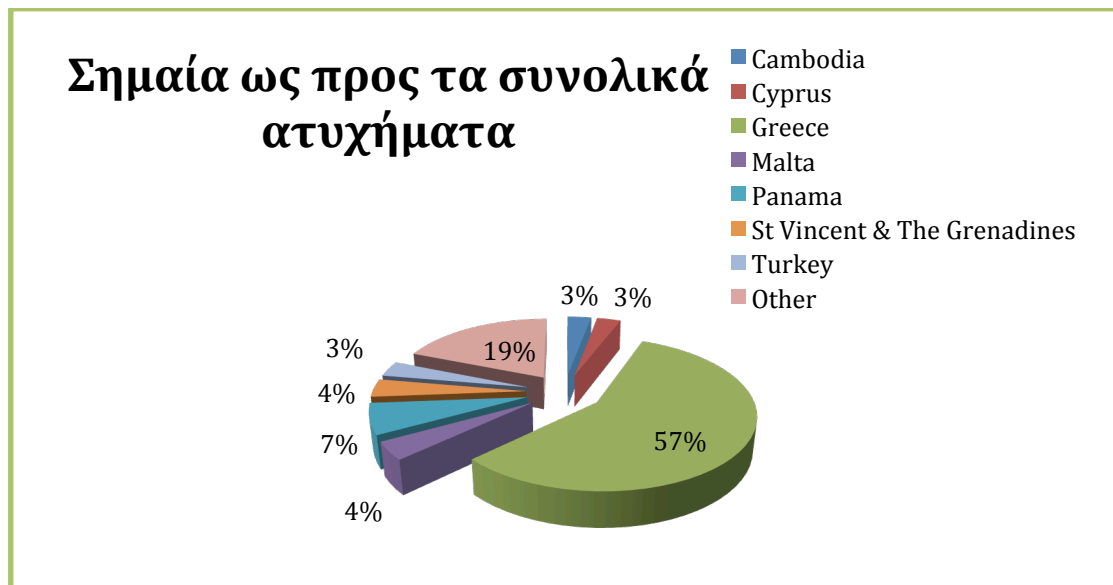
## ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΑΙΓΑΙΟ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1999-2009

### 2.1 Γενικά στοιχεία όλων των ναυτικών ατυχημάτων στο Αιγαίο το διάστημα 1999-2009

Εξάγοντας τα χαρακτηριστικά τόσο των εμπλεκομένων σε ατυχήματα πλοίων όσο και των ατυχημάτων από τις βάσεις δεδομένων της sea-web και του Υπουργείου Ναυτιλίας προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα για το διάστημα 1999-2009:

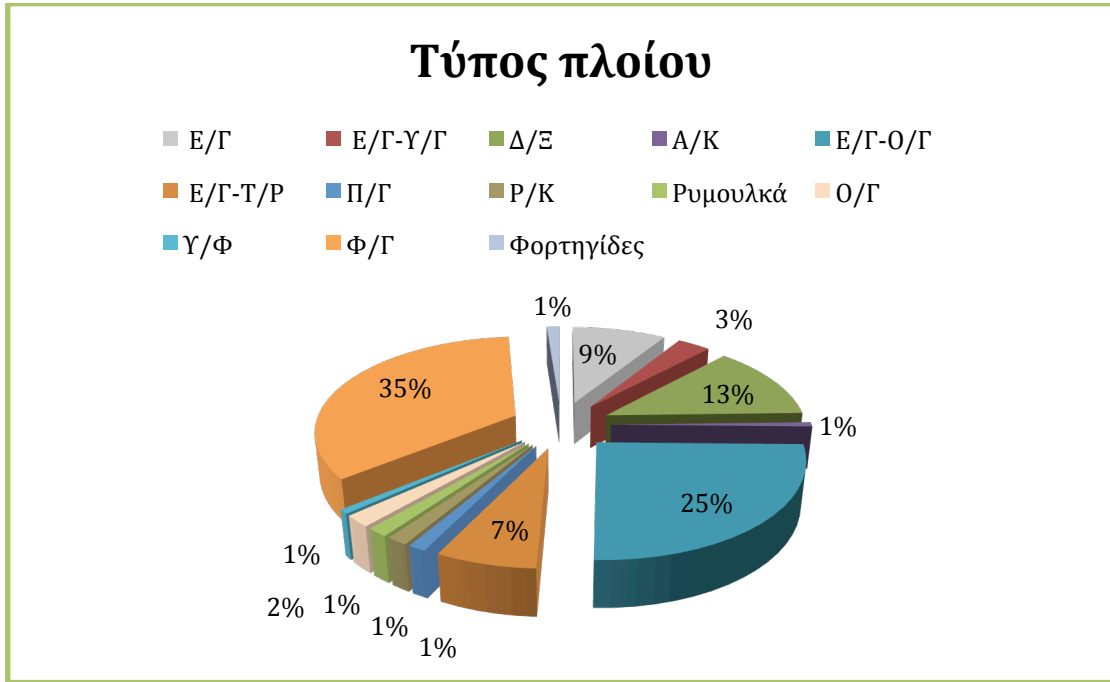


Σχήμα 11: Ηλικία πλοίου – Αριθμός όλων των ατυχημάτων το διάστημα 1999-2009



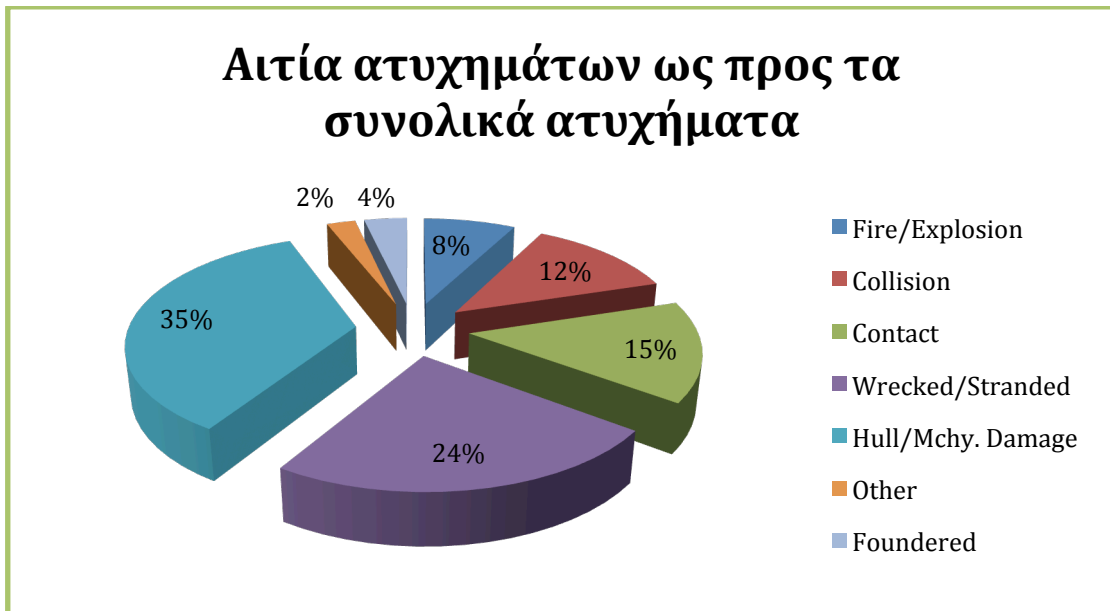
Σχήμα 12: Σημαία πλοίου – Ποσοστό των ατυχημάτων ως προς τα συνολικά το διάστημα 1999-2009

Από τα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε ότι τα περισσότερα πλοία που συναντάμε στα ναυτικά ατυχήματα την τελευταία δεκαετία φέρουν ελληνική σημαία και είναι γηρασμένα με ηλικία πάνω από 25 χρόνια.



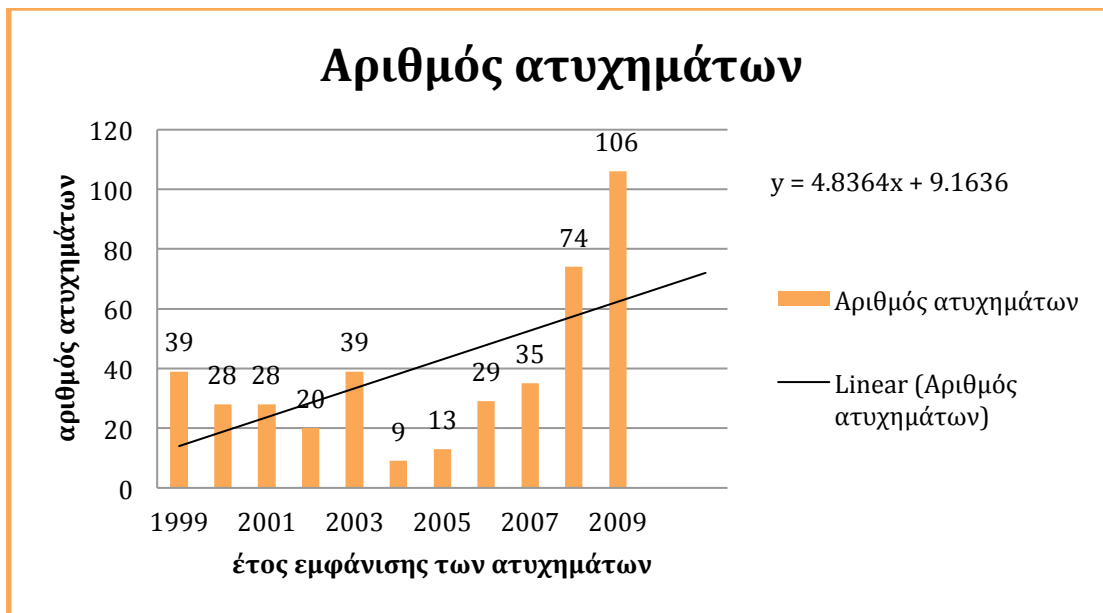
Σχήμα 13: Τύπος πλοίου – Ποσοστό των ατυχημάτων ως προς τα συνολικά το διάστημα 1999-2009

Από το παραπάνω διάγραμμα διαφαίνεται ότι ένα ποσοστό 60% των ναυτικών ατυχημάτων αφορούσαν πλοία Ε/Γ-Ο/Γ και Φ/Γ.



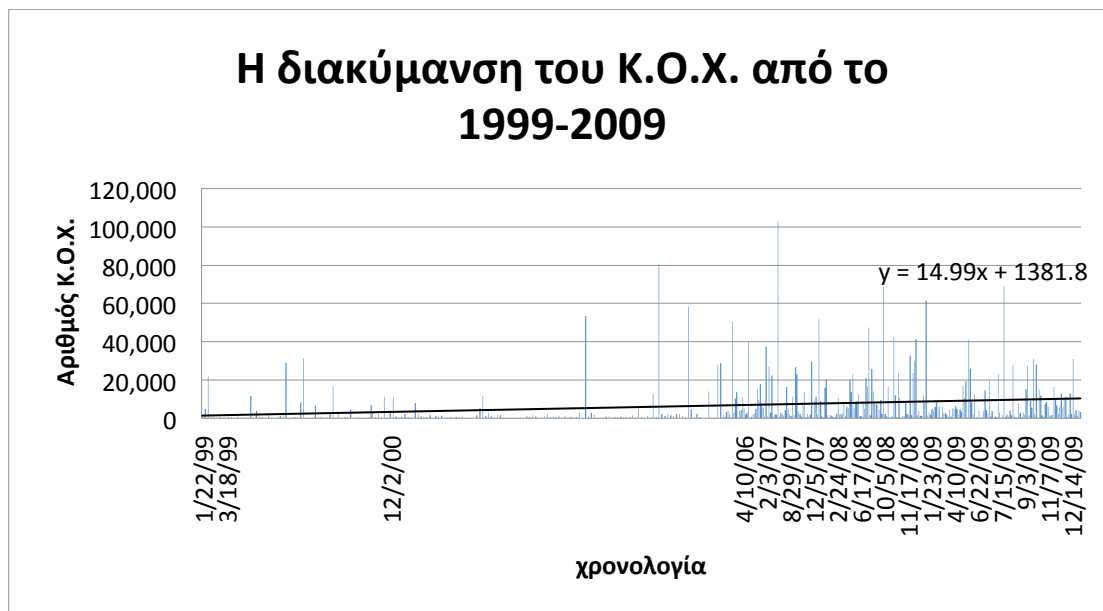
Σχήμα 14: Αιτία ατυχημάτων – Ποσοστό των ατυχημάτων ως προς τα συνολικά το διάστημα 1999-2009

Από το παραπάνω διάγραμμα εντοπίζεται ότι ένα ποσοστό 35% των ναυτικών ατυχημάτων αφορούσαν Μηχανικές ή της γάστρας Βλάβες.



Σχήμα 15: Αριθμός ατυχημάτων – Έτος το διάστημα 1999-2009

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι με τη πάροδο του χρόνου σημειώνονται όλο και περισσότερα ατυχήματα με αποκορύφωμα το 2009 που σημειώθηκαν 106 ατυχήματα.

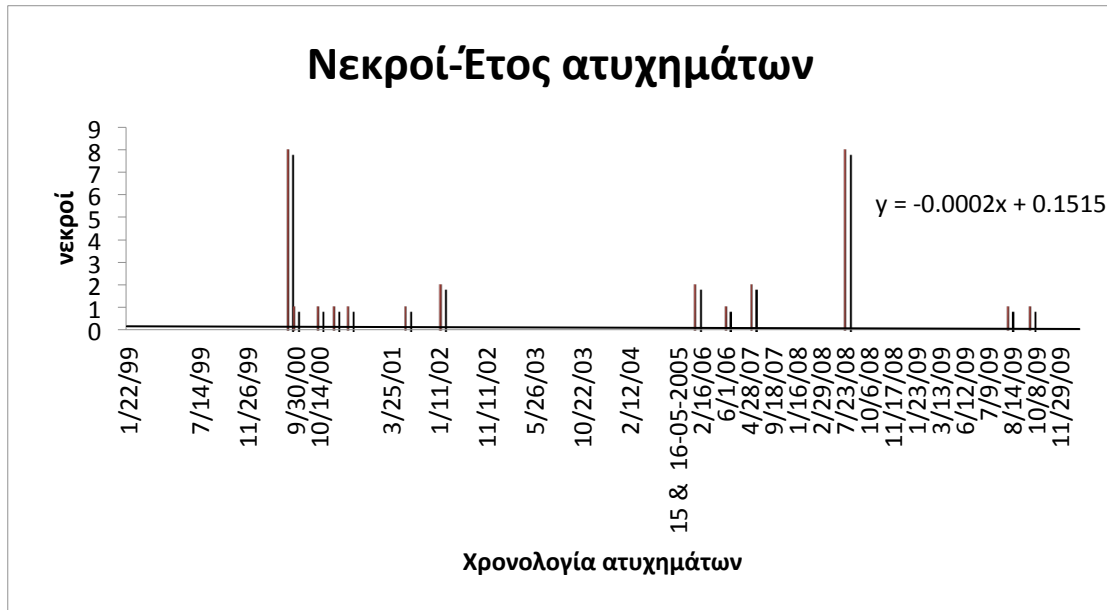


Σχήμα 16: Κ.Ο.Χ. – Έτος το διάστημα 1999-2009

Από το παραπάνω και παρακάτω διάγραμμα φαίνεται ότι τα τελευταία χρόνια έχουμε μια σημαντική αύξηση της χωρητικότητας των εμπλεκόμενων σ' ατυχήματα πλοίων αλλά και μια μικρή μείωση του αριθμού των νεκρών.

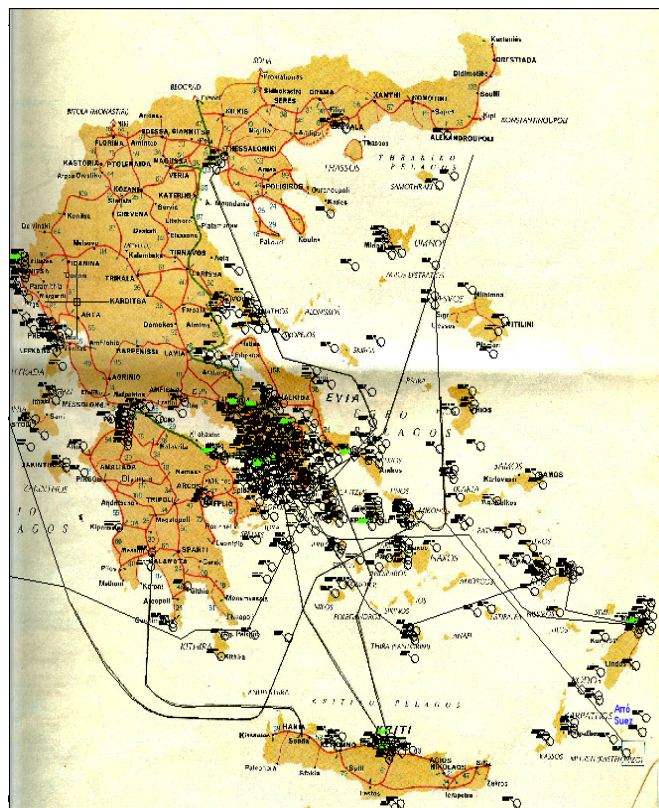






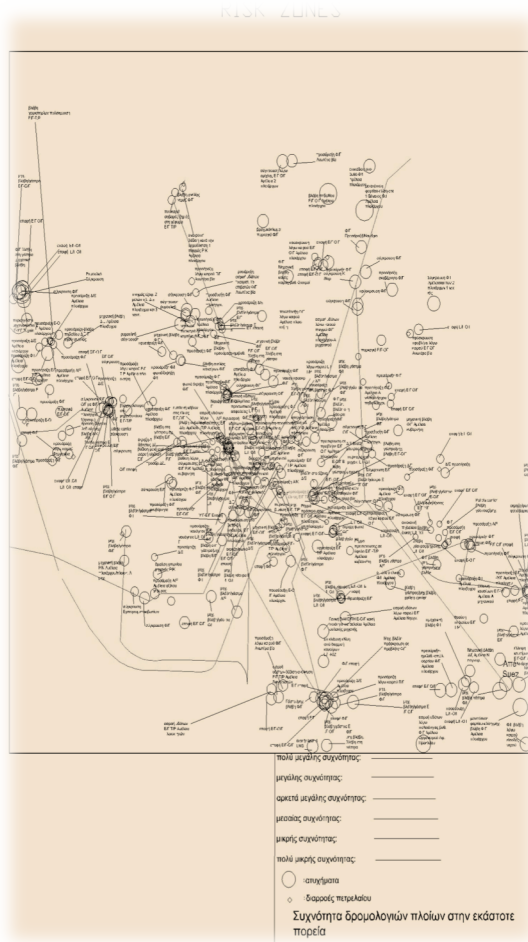
Σχήμα 17: Αριθμός νεκρών –Έτος το διάστημα 1999-2009

## 2.2 Χάρτες απεικόνισης των ατυχημάτων στο Αιγαίο



Σχήμα 18: Χάρτης απεικόνισης των ατυχημάτων το διάστημα 1999-2009

Από τον παραπάνω χάρτη βλέπουμε ότι τα περισσότερα ατυχήματα γίνονται σε λιμάνια και πολύ μεγάλος αριθμός ατυχημάτων εντοπίζεται στον Αργοσαρωνικό.



Σχήμα 19: Χάρτης απεικόνισης των ατυχημάτων το διάστημα 1999-2009

### 2.3 Chi square Test For Goodness-Of-Fit

Θα εφαρμόσουμε το chi square test for goodness-of-fit για να βρούμε αν για τα παραπάνω στοιχεία (είδος πλοίου, σημαία, είδος ατυχήματος, έτος κατασκευής) υπάρχει εξάρτηση με τα ατυχήματα. Εφαρμόζοντας το τεστ αυτό διαπιστώνουμε ότι όλα τα παραπάνω στοιχεία είναι εξαρτημένα με τα ατυχήματα καθώς το  $P < 0.005$ .

Το  $\chi^2$  είναι:

Για το είδος του πλοίου:  $\chi^2_{critical} = 15,507$ ,  $\chi^2 = 584$ ,  $\chi^2 > \chi^2_{critical}$  απορρίπτουμε την υπόθεση  $H_0$

Για το είδος του ατυχήματος:  $\chi^2_{critical} = 12,59$ ,  $\chi^2 = 281$ ,  $\chi^2 > \chi^2_{critical}$  απορρίπτουμε την υπόθεση  $H_0$

Για το έτος κατασκευής:  $\chi^2_{critical} = 11,07$ ,  $\chi^2 = 1014$ ,  $\chi^2 > \chi^2_{critical}$  απορρίπτουμε την υπόθεση  $H_0$

Για τη σημαία:  $\chi^2_{critical} = 14,067$ ,  $\chi^2 = 1620$ ,  $\chi^2 > \chi^2_{critical}$  απορρίπτουμε την υπόθεση  $H_0$

$H_0$  : Πραγματική κατανομή = Θεωρητική κατανομή (ανεξάρτητα )

$H_1$  : Πραγματική κατανομή  $\neq$  Θεωρητική κατανομή (εξαρτημένα)





#### 2.4 Τα «όρφανα» ατυχήματα και το είδος των ατυχημάτων που θα εξετάσουμε

Στη παρούσα διπλωματική θα εξετάσουμε μόνο ατυχήματα ναυσιπλοΐας όπως προσάραξη, σύγκρουση, πρόσκρουση. Η επιλογή αυτή έγινε έχοντας παραδεχτεί την Κινητική Ενέργεια ενός πλοίου ως ένα γενικό εν δυνάμει δείκτη των υλικών ζημιών των πλοίων που εμπλέκονται στα ατυχήματα, κάτι το οποίο δεν υφίσταται στα ατυχήματα με μηχανική Βλάβη και στις πυρκαγιές.

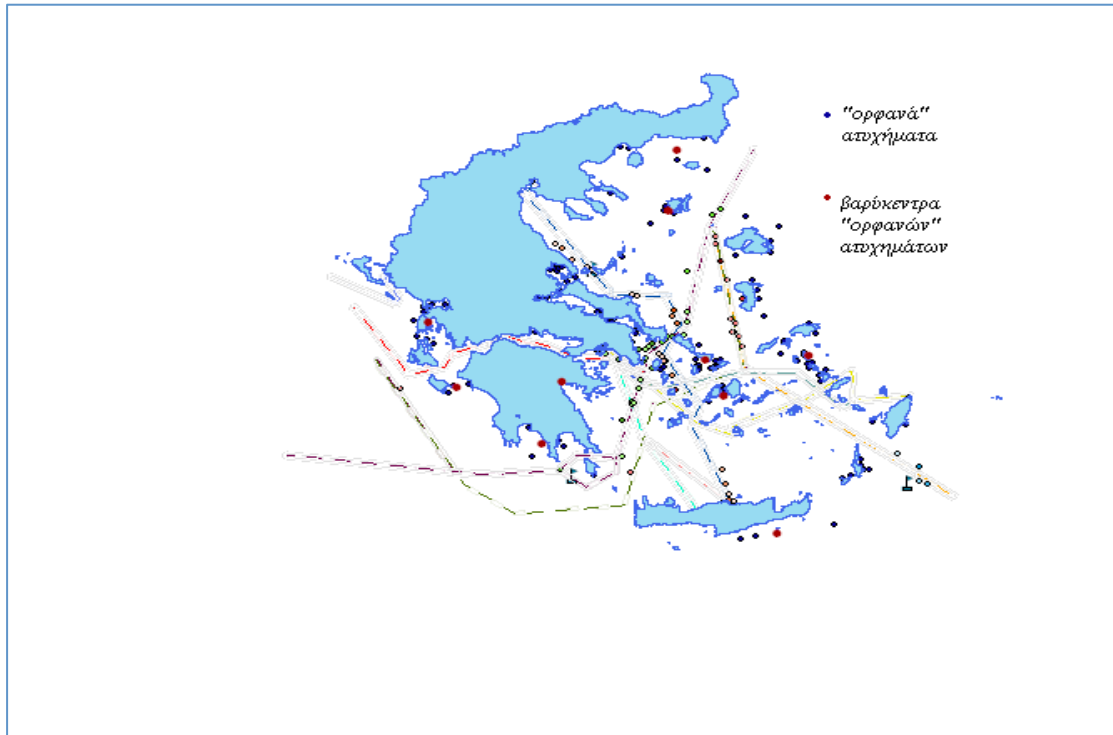
Πριν προχωρήσουμε στην παράθεση των αποτελεσμάτων προσπαθήσαμε να δώσουμε μια εικόνα των ατυχημάτων που βρίσκονται στις πορείες και στα «όρφανά» ατυχήματα που είναι μακριά από τις πορείες. Βλέπουμε ότι μόνο ένα 20% των ατυχημάτων είναι ακριβώς πάνω στις πορείες.



Σχήμα 20: ποσοστό «ορφανών» ατυχημάτων σε σχέση με τα συνολικά το διάστημα 1999-2009



Απεικόνιση των "ορφανών" ατυχημάτων



Σχήμα 21: απεικόνιση «ορφανών» ατυχημάτων σε σχέση με τα συνολικά το διάστημα 1999-2009

Διάστημα εμπιστοσύνης για τη μέση τιμή (Άγνωστη διασπορά  $N > 30$ )  
Εφόσον η διακύμανση του πληθυσμού-ατυχήματα είναι άγνωστη, την εκτιμούμε με την τιμή της δειγματικής διακύμανσης:

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

Όταν η κατανομή πληθυσμού-ατυχήματα μπορεί να υποτεθεί κανονική και το δείγμα είναι μεγάλο ( $n > 30$ ) τότε η τυχαία μεταβλητή:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}}$$

ακολουθεί την τυπική κανονική κατανομή. Συνεπώς το  $100(1-\alpha)\%$  διάστημα εμπιστοσύνης για τη μέση τιμή μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την δειγματική τυπική απόκλιση αντί της τυπικής απόκλισης του πληθυσμού.





Επομένως, αν  $\bar{X}$  και  $s^2$  είναι η τιμή του μέσου και της διακύμανσης, αντίστοιχα, σε ορισμένο τυχαίο δείγμα μεγέθους  $n$ , τότε θα εκτιμήσουμε ότι το διάστημα

$$[\bar{x} - z_{1-\alpha/2}S/\sqrt{n}, \bar{x} + z_{1-\alpha/2}S/\sqrt{n}]$$

θα περιέχει την  $\mu$  με επίπεδο εμπιστοσύνης  $1-\alpha$ .

Κατηγορία	Μέση Τιμή	Δειγματική απόκλιση SD	SEM 8	πλήθος N	Διάστημα εμπιστοσύνης 90%CI	Διάστημα εμπιστοσύνης 95%CI	Διάστημα εμπιστοσύνης 99%CI
Με «ορφανά» ατυχήματα	48	11.24	0.540	432	47.1086 έως 48.8914	46.9371 έως 49.0629	46.6008 έως 49.3992
Χωρίς «ορφανά» ατυχήματα	21.125	4.16	0.32	169	20.5957466555 3 έως 21.6542533444 7	20.4932825762 8 έως 21.7567174237 2	20.29129775 Έως 21.95870224

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Επίπεδο εμπιστοσύνης με και χωρίς «ορφανά» ατυχήματα

Η βάση της επιλογής του όρου ζωνών έναντι του όρου πορειών

Επιδιώξαμε να έχουμε όσο το δυνατό μεγαλύτερο στατιστικό δείγμα έτσι ώστε να βγάλουμε πιο ασφαλή συμπεράσματα. Για να αυξήσουμε το στατιστικό δείγμα των ατυχημάτων στραφήκαμε στην υιοθέτηση των όρων ζωνών αντί για πορείες, καθώς μόνο ένα 20% των ατυχημάτων είναι ακριβώς πάνω στις πορείες. Επιπλέον, παίρνοντας τα καταγεγραμμένα πλοία σε μια περιοχή από την βάση της ΙΜΙΣ ένα σημαντικό ποσοστό των πλοίων αυτών δεν ανήκουν στην ίδια πορεία.

Τέλος, από το γεγονός ότι στο άτυπο συμβούλιο που οργάνωσε η Βελγική προεδρεία στις 16 Σεπτεμβρίου 2010 στην Αμβέρσα, στο οποίο έδειξαν ενδιαφέρον οι υπουργοί μεταφορών της ΕΕ για ένα πιλοτικό πρόγραμμα "θαλάσσια ζώνη", το οποίο πρέπει να εφαρμοστεί με τη βοήθεια του EMSA, συμπεράναμε ότι ο όρος ζώνη χρησιμοποιείται πιο ευρέως και είναι πιο σωστός και επίκαιρος στο ενδοκοινοτικό εμπόριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης.



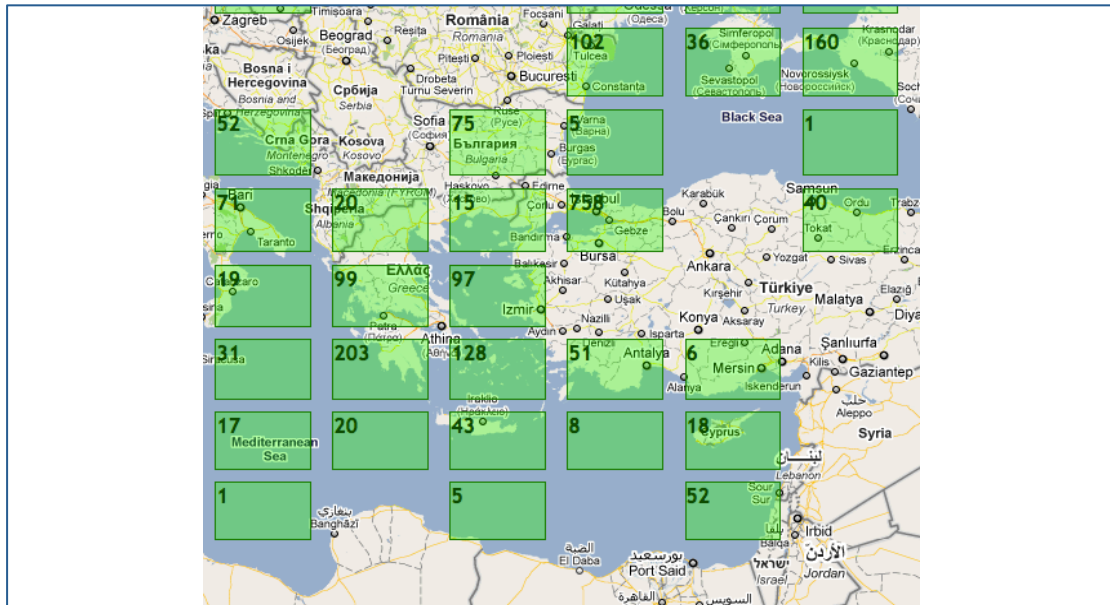


2.5 Στοιχεία κυκλοφορίας πλοίων στο Αιγαίο

Παρέχοντας μας η IMIS σε μια βάση δεδομένων 4 TB τα στίγματα των διερχομένων πλοίων στο Αιγαίο από τα μέσα του 2007 έως τα τέλη του 2009, εξάγαμε τα παρακάτω διαγράμματα, στο σχήμα 22 βλέπουμε ότι έχουμε σχεδόν σταθερή ροή πλοίων στο Αιγαίο καθ' όλη τη διάρκεια των μηνών μ' εξαίρεση τον Απρίλιο του 2007:



Σχήμα 22: Ημερήσιος αριθμός πλοίων στο Αιγαίο 13/04/2007-13/10/2009

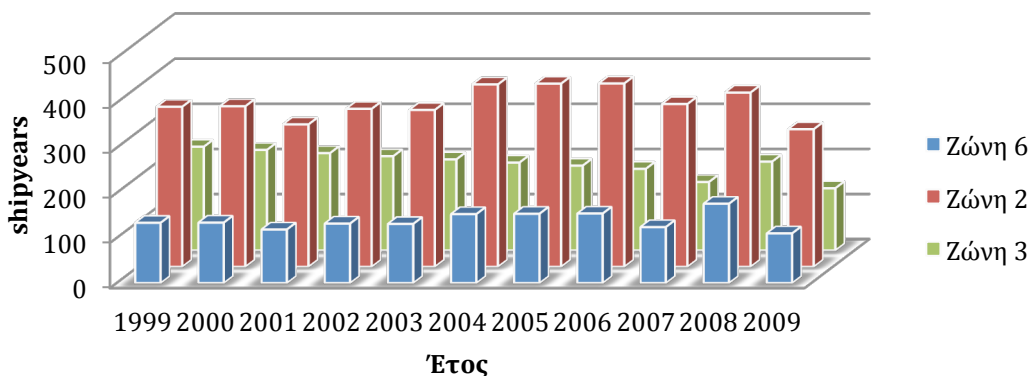


Σχήμα 23: Ημερήσιος αριθμός πλοίων στο Αιγαίο από το AIS 4/04/2011





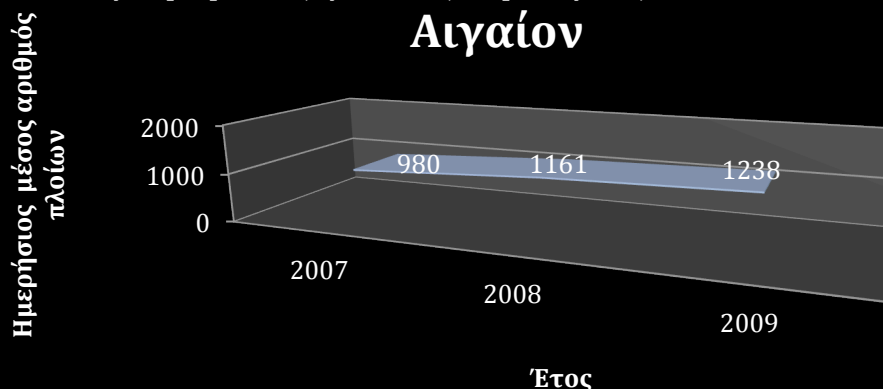
## Εξέλιξη των shipyears και στις τρεις Ζώνες την τελευταία δεκαετία



Σχήμα 24: Εξέλιξη των shipyears και στις τρεις ζώνες την τελευταία δεκαετία

Από το παραπάνω σχήμα βλέπουμε τόσο ότι τον μεγαλύτερο όγκο πλοίων τον συναντάμε στη ζώνη Δαρδανέλια-Αδριατική όσο και ότι με την πάροδο του χρόνου σημειώνεται αύξηση του αριθμού των διελεύσεων τόσο στην ζώνη Δαρδανέλια-Αδριατική όσο και στην ζώνη Σουέζ- Δαρδανέλια σ' αντίθεση με την ζώνη Θεσσαλονίκη- Ηράκλειο που σημειώνεται μείωση. Από το σχήμα 25 βλέπουμε ότι έχουμε μια αύξηση του ημερήσιου μέσου αριθμού πλοίων στο Αιγαίο τα τελευταία δυόμισι χρόνια.

## Ημερήσιος μέσος αριθμός πλοίων στο Αιγαίο



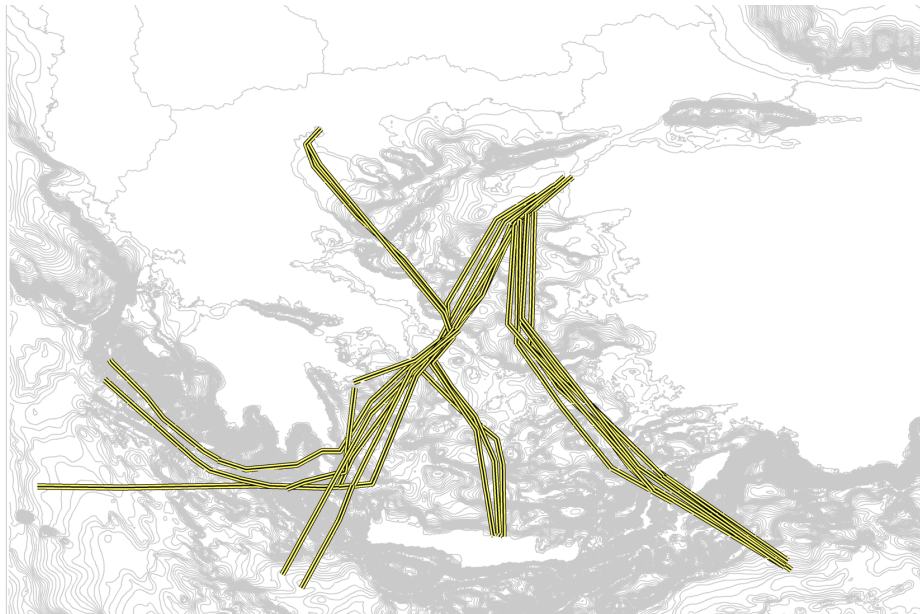
Σχήμα 25: Ημερήσιος αριθμός πλοίων στο Αιγαίο





*Απεικόνιση πορειών και για τις τρεις υπό μελέτη ζώνες*

Ενώνοντας τα στίγματα όπως φαίνεται στο σχήμα 29, τα οποία πάρθηκαν από την βάση δεδομένων της IMIS, πρόέκυψαν οι παρακάτω πορείες όπως φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα:

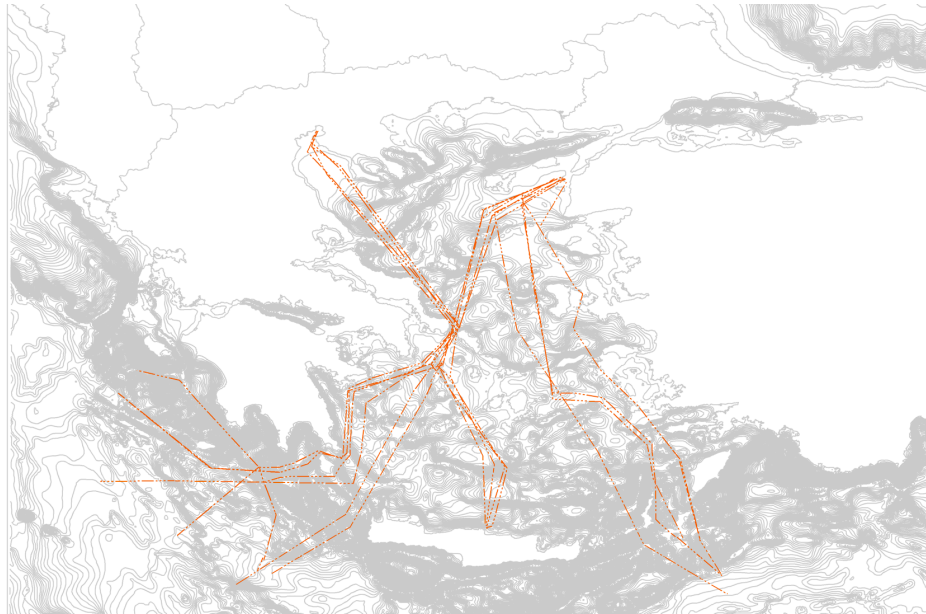


*Σχήμα 26: Πορείες στις 15-05-2009*

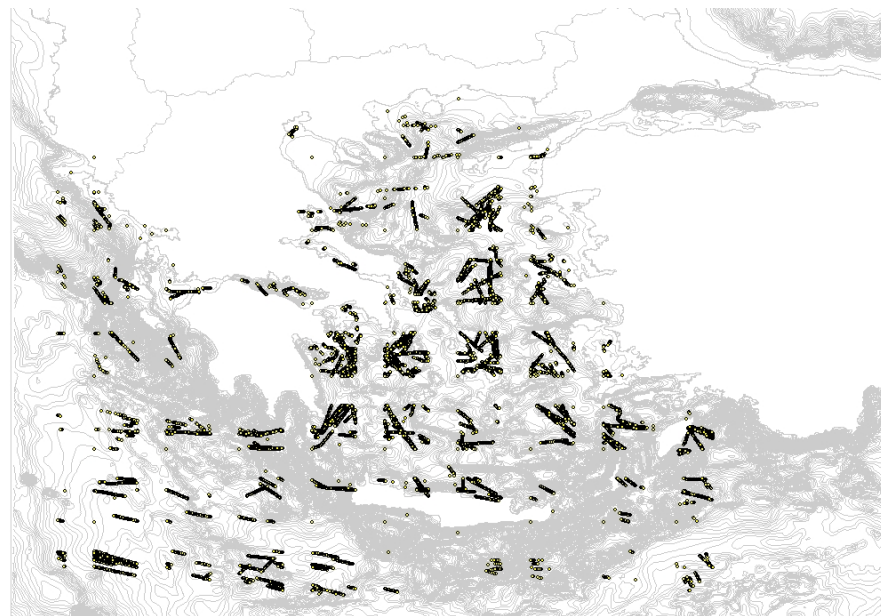


*Σχήμα 27: Πορείες στις 22-02-2008*





*Σχήμα 28: Πορείες στις 10-11-2007*



*Σχήμα 29: Στίγματα πλοίων 15-05-2009*

*Πηγή ΙΜΙΣ*



## 2.6 Χαρακτηριστικά των ατυχημάτων ναυσιπλοΐας στην κάθε υπό μελέτη ζώνη

Ομοίως, εξάγοντας τα χαρακτηριστικά των εμπλεκόμενων σε ατυχήματα ναυσιπλοΐας πλοίων στις τρεις υπό μελέτη ζώνες από τις βάσεις δεδομένων για το διάστημα 1999-2009 προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα για τη κάθε ζώνη ξεχωριστά:



Σχήμα 30: Τύποι πλοίων στη ζώνη 6

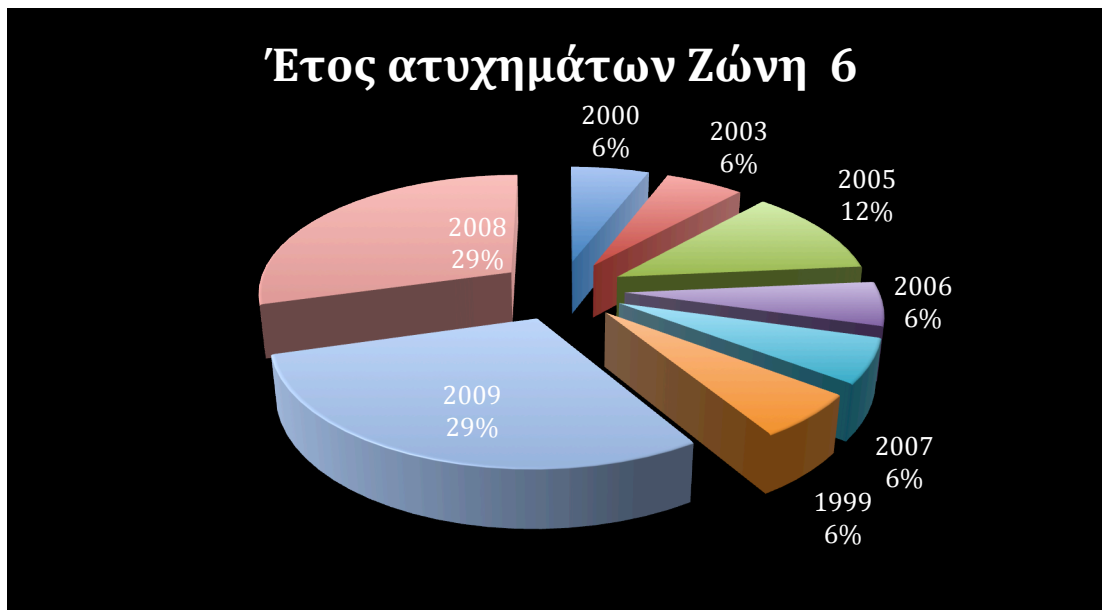
Από το παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνουμε ότι οι πιο συνηθισμένοι τύποι πλοίων που εμπλέκονται σε ατυχήματα (76%) στη Ζώνη 6 είναι Φ/Γ, Ε/Γ,Ε/Γ-Ο/Γ.



Σχήμα 31: Είδη ατυχημάτων στη ζώνη 6



Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι η συντριπτική πλειοψηφία ένα 57% των ατυχημάτων σχετίζονται με Μηχανικές Βλάβες/ Γάστρας Βλάβες.



Σχήμα 32: Χρονολογία ατυχημάτων στη ζώνη 6

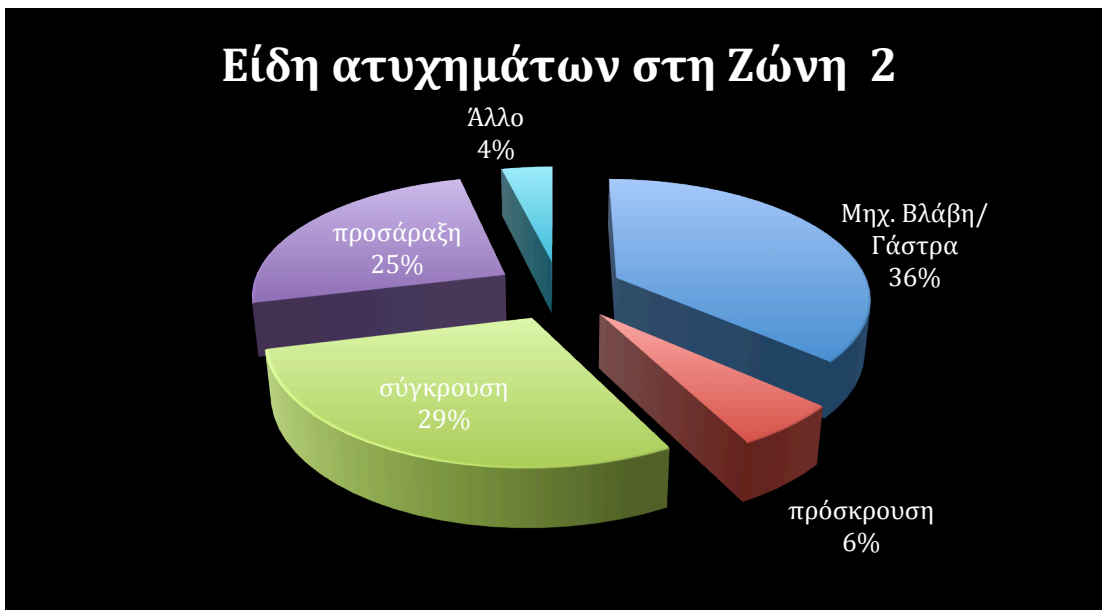
Από το παραπάνω σχήμα διαπιστώνουμε ότι το 48% των ατυχημάτων έχουν γίνει τα τελευταία δύο χρόνια (2009, 2008).



Σχήμα 33: Μεταβολή της KE με τον χρόνο στη ζώνη 6

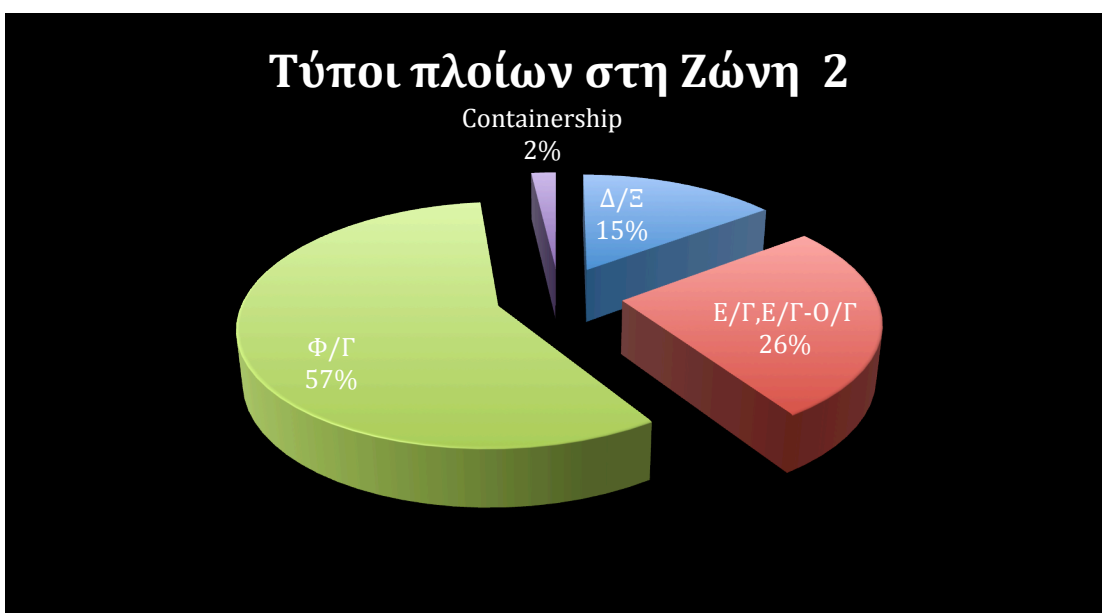
Από το παραπάνω σχήμα βλέπουμε ότι έχουμε μεγάλη Κινητική Ενέργεια των εμπλεκόμενων σ' ατυχήματα πλοίων το 2003 και 1999.





Σχήμα 34: Είδη Ατυχημάτων στη ζώνη 2

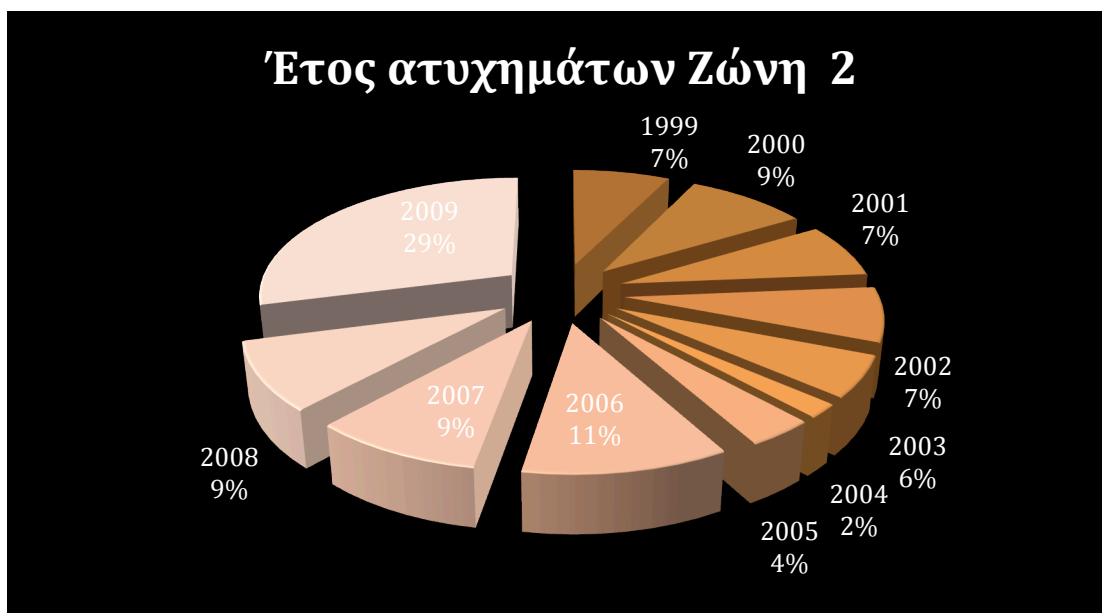
Από το παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι η πλειοψηφία των σημειωθέντων ατυχημάτων είναι Μηχανικές βλάβες ενώ περίπου οι συγκρούσεις και οι προσαράξεις εμφανίζονται με την ίδια συχνότητα.



Σχήμα 35: Τύποι πλοίων στη ζώνη 2

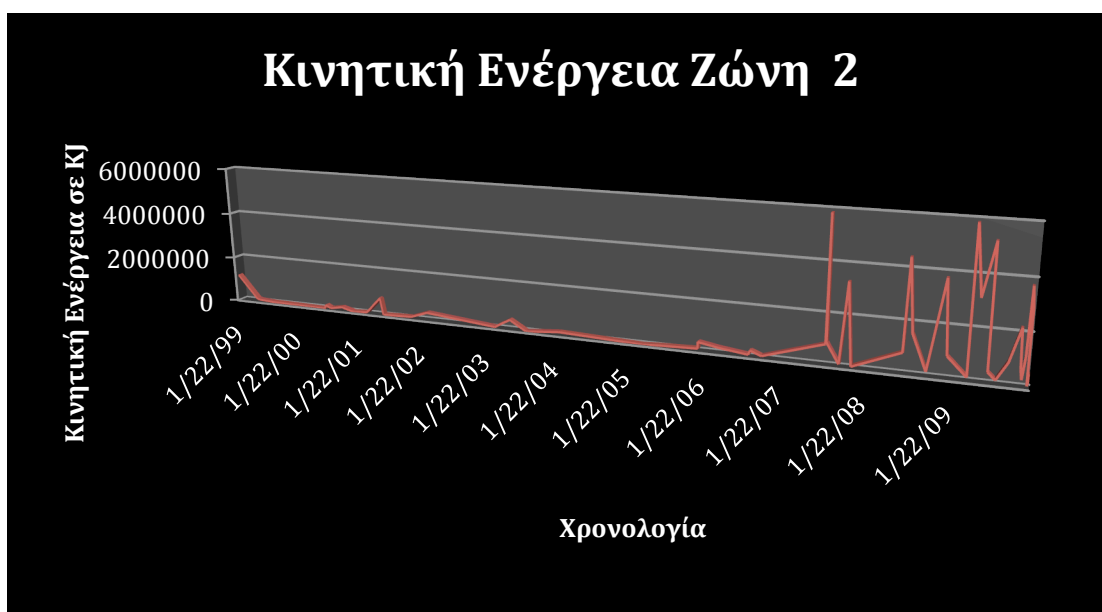
Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι η συντριπτική πλειοψηφία ένα 57% των ατυχημάτων σχετίζονται με Φ/Γ πλοία.





Σχήμα 36: Χρονολογία ατυχημάτων στη ζώνη 2

Από το παραπάνω σχήμα διαπιστώνουμε ότι το 29% των ατυχημάτων έγιναν το 2009. Ενώ τα άλλα έτη έχουμε κατά μέσο όρο γύρω στο 8% των συνολικών ατυχημάτων.

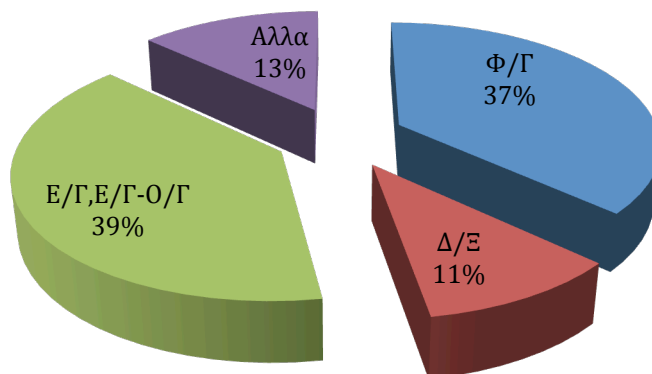


Σχήμα 37: Μεταβολή της ΚΕ με τον χρόνο στη ζώνη 2

Από το παραπάνω σχήμα βλέπουμε ότι με τη πάροδο του χρόνου αυξάνεται σημαντικά η Κινητική Ενέργεια των εμπλεκομένων σ' ατυχήματα πλοίων.



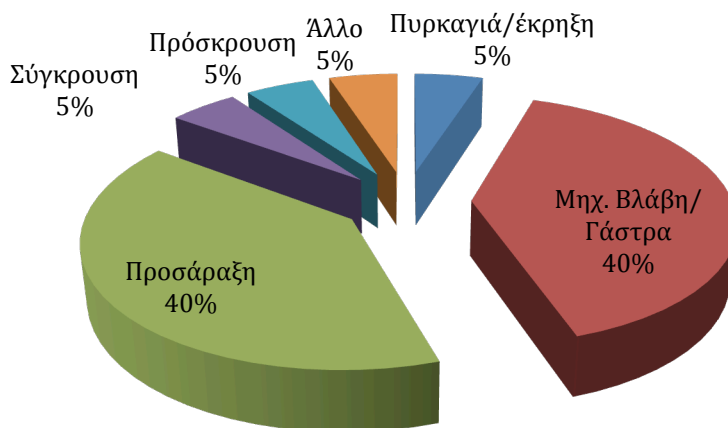
### Τύποι πλοίων Ζώνη 3



Σχήμα 38: Τύποι πλοίων στη ζώνη 3

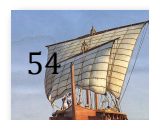
Από το παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνουμε ότι οι πιο συνηθισμένοι τύποι πλοίων που εμπλέκονται σε ατυχήματα (76%) στη Ζώνη 3 είναι Φ/Γ, Ε/Γ,Ε/Γ-Ο/Γ.

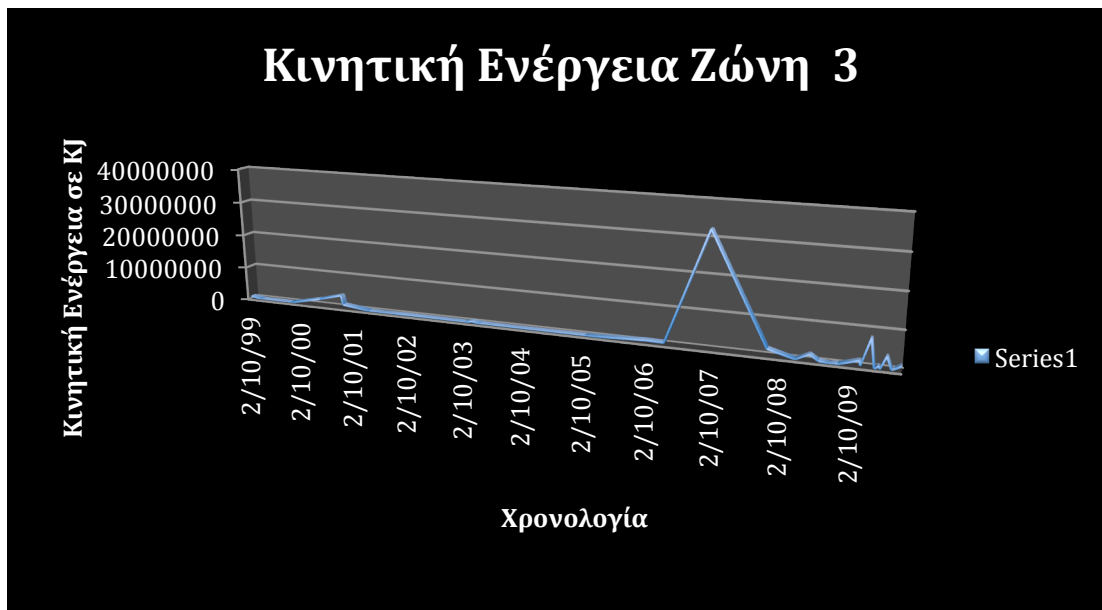
### Είδη ατυχημάτων Ζώνη 3



Σχήμα 39: Είδη ατυχημάτων στη ζώνη 3

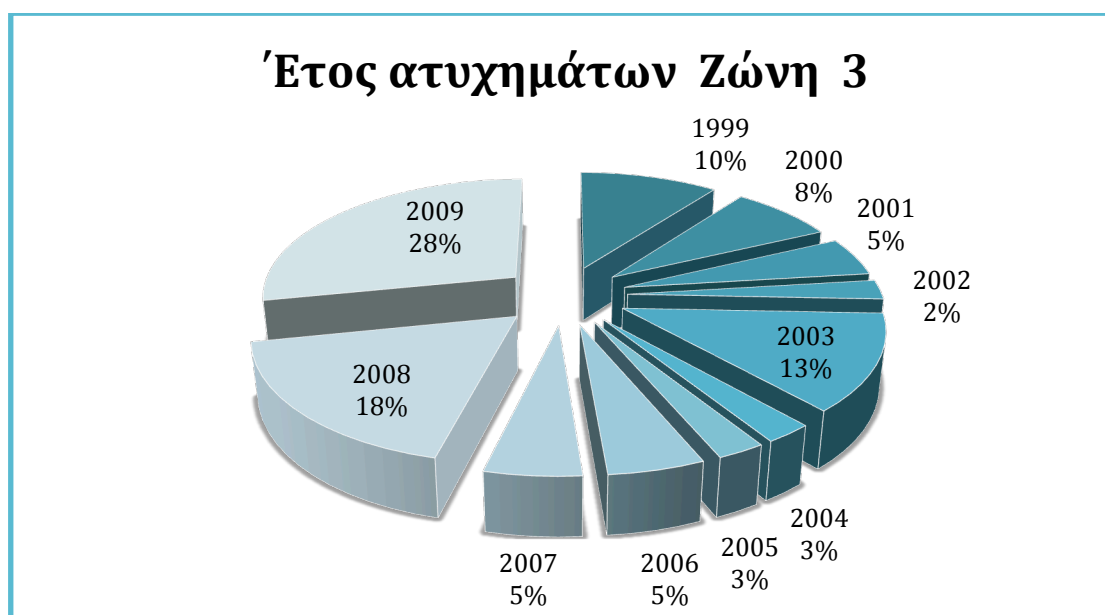
Από το παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι το 80% των σημειωθέντων ατυχημάτων είναι Μηχανικές βλάβες και προσαράξεις.





Σχήμα 40: Μεταβολή της ΚΕ με τον χρόνο στη ζώνη 3

Από το παραπάνω σχήμα βλέπουμε ότι με τη πάροδο του χρόνου αυξάνεται η Κινητική Ενέργεια των εμπλεκόμενων σ' ατυχήματα πλοίων.



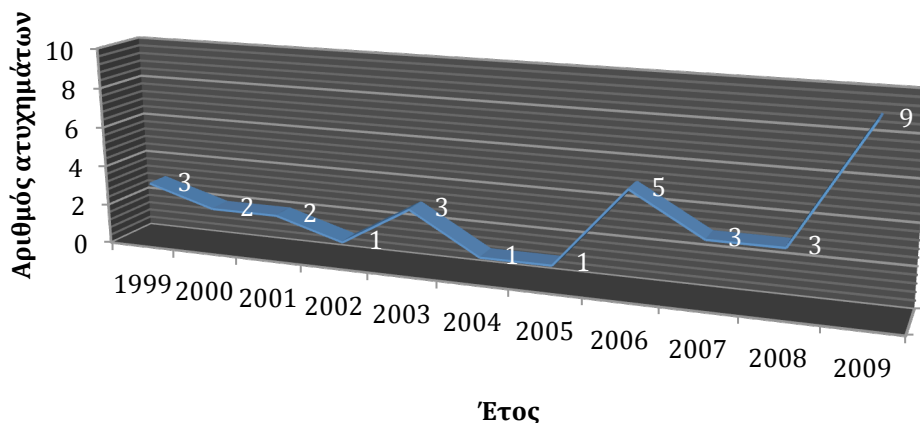
Σχήμα 41: Έτος ατυχημάτων στη ζώνη 3

Από το παραπάνω σχήμα διαπιστώνουμε ότι το 46% των ατυχημάτων έχουν γίνει τα τελευταία δύο χρόνια (2009, 2008).





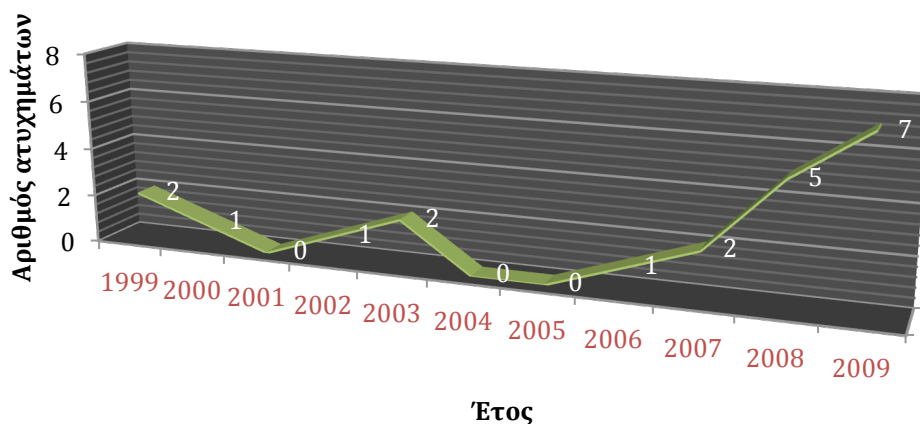
## Αριθμός ατυχημάτων ναυσιπλοΐας στη Ζώνη 2-Έτος



Σχήμα 42: Μεταβολή του αριθμού ατυχημάτων με τον χρόνο στη ζώνη 2

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε ότι κάθε χρόνο έχουμε και ένα ατύχημα ναυσιπλοΐας στη Ζώνη 2 και σημειώνεται σημαντική αύξηση τα τελευταία χρόνια του αριθμού των ατυχημάτων.

## Αριθμός ατυχημάτων ναυσιπλοΐας στη Ζώνη 3-Έτος



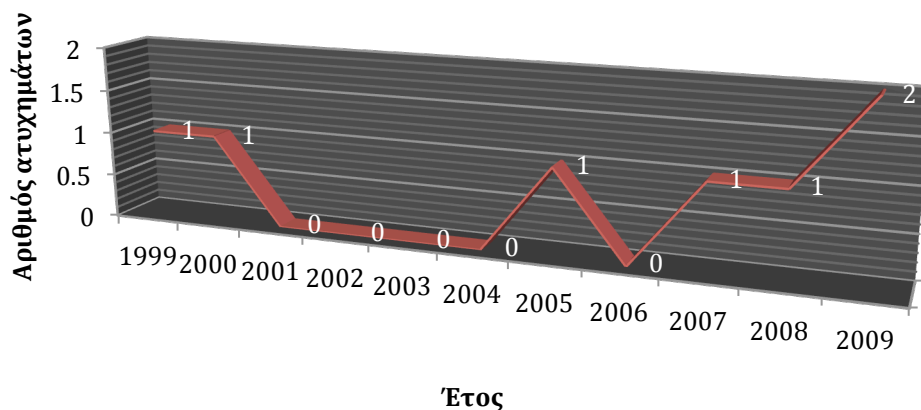
Σχήμα 43: Μεταβολή του αριθμού ατυχημάτων με τον χρόνο στη ζώνη 3

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε μια σημαντική αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων ναυσιπλοΐας τα τελευταία δύο χρόνια.

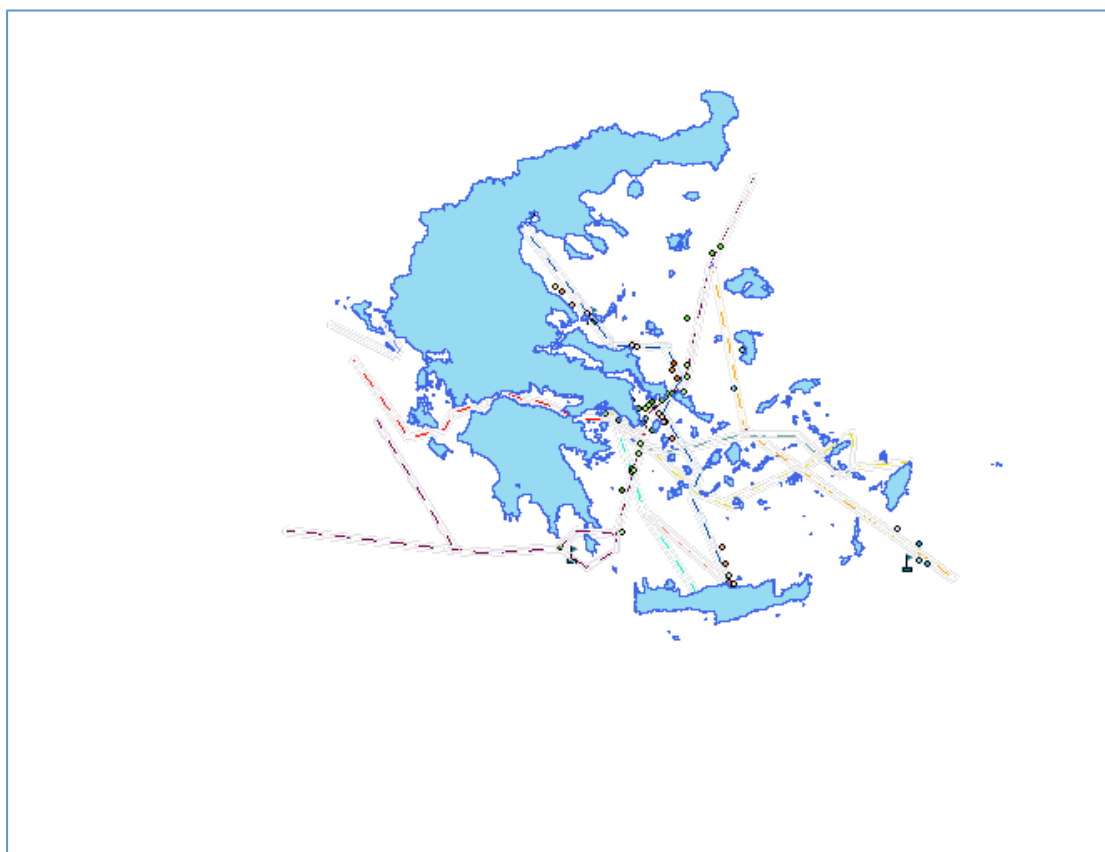


Στο παρακάτω σχήμα διαφαίνεται μια αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων ναυσιπλοΐας τα τελευταία χρόνια.

## Αριθμός ατυχημάτων ναυσιπλοΐας στη Ζώνη 6-Έτος



Σχήμα 44: Μεταβολή του αριθμού ατυχημάτων με τον χρόνο στη ζώνη 6



Σχήμα 45: Ατυχήματα ναυσιπλοΐας και στις τρεις ζώνες

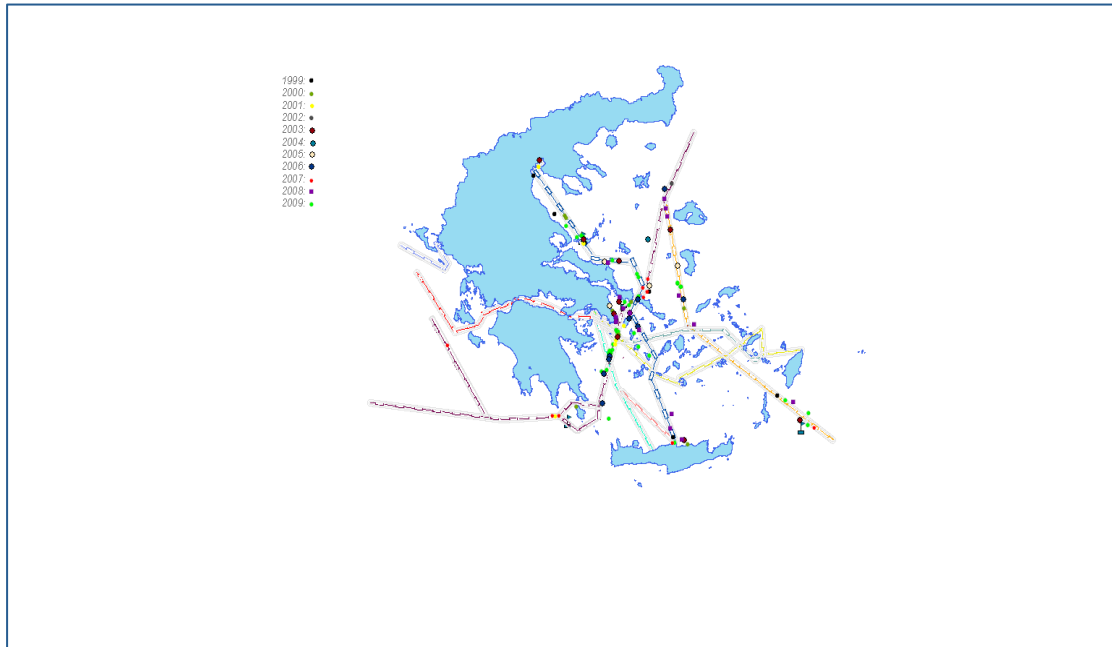
Από τον παραπάνω χάρτη εντοπίζουμε ότι τα περισσότερα ατυχήματα ναυσιπλοΐας συνέβησαν στα στενά Άνδρου-Εύβοιας και Ραφήνας-Εύβοιας.



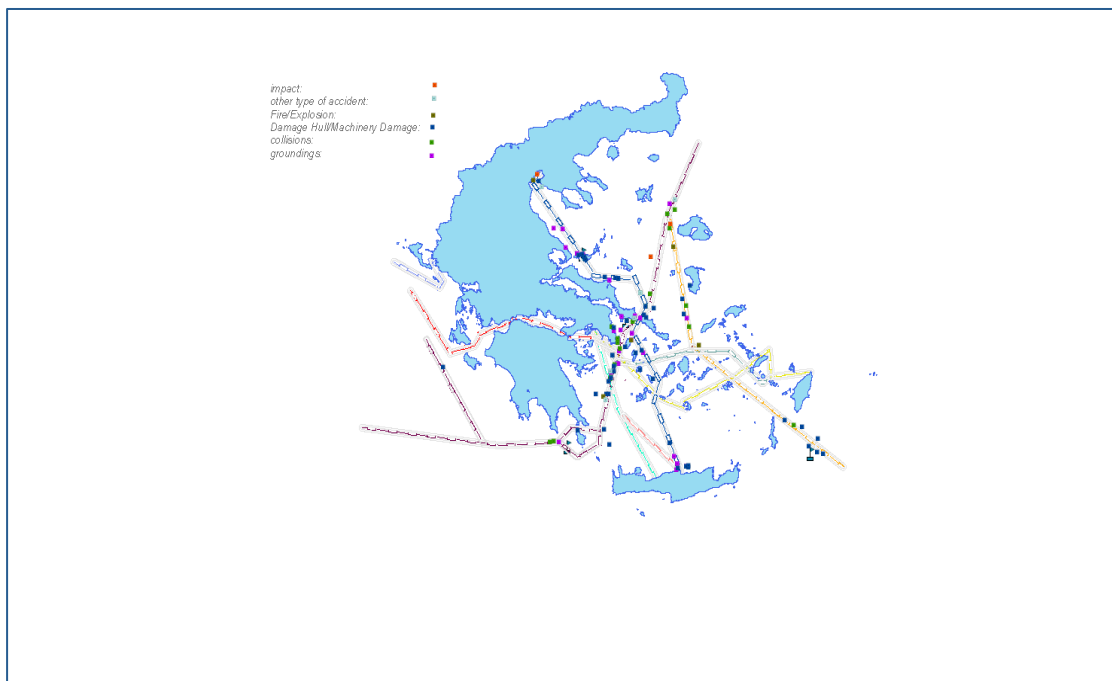


2.7 Απεικόνιση των χαρακτηριστικών των ατυχημάτων στις τρεις υπό μελέτη ζώνες

Τα χαρακτηριστικά τόσο των εμπλεκόμενων σ' ατυχήματα πλοίων όσο και των ατυχημάτων στα σχήματα 30-44 αναπαριστώνται στους παρακάτω χάρτες.



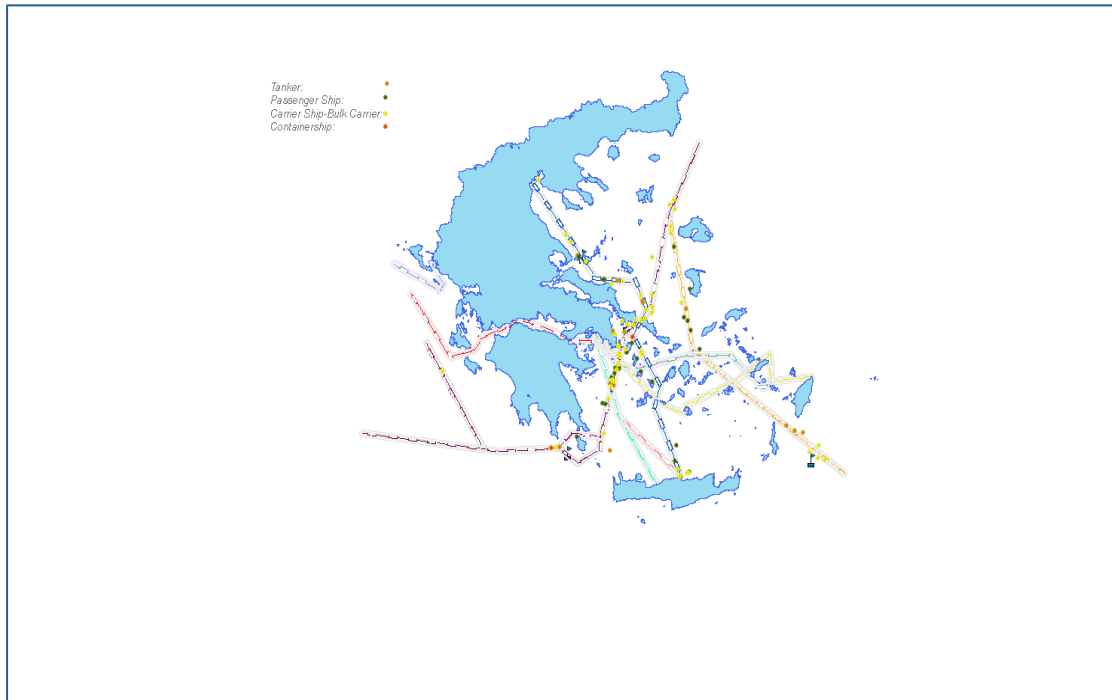
Σχήμα 46: Χρονολογία ατυχημάτων



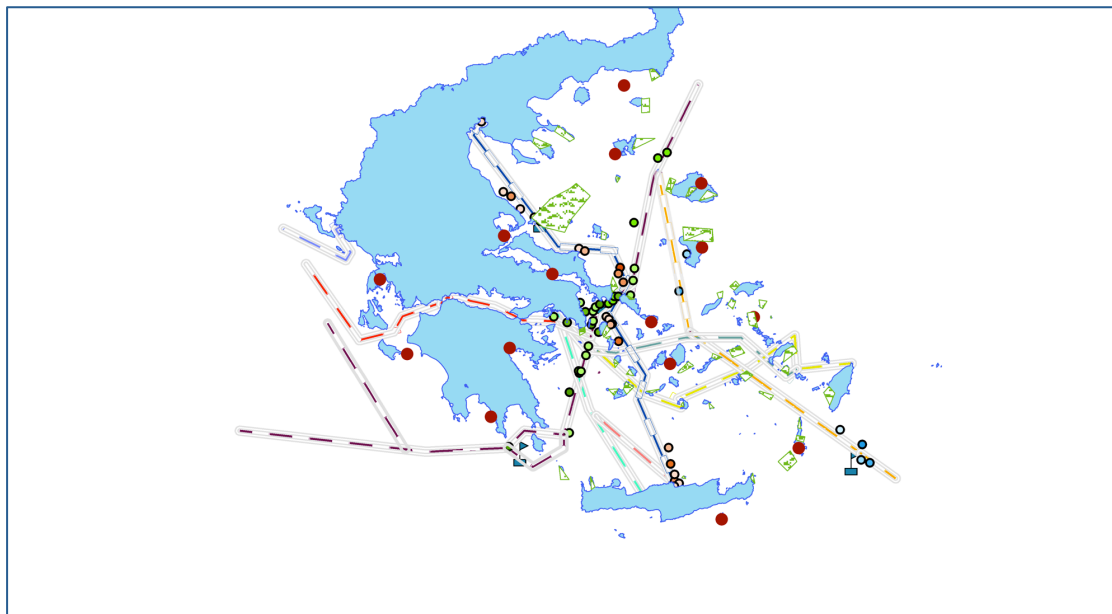
Σχήμα 47: Είδος ατυχημάτων



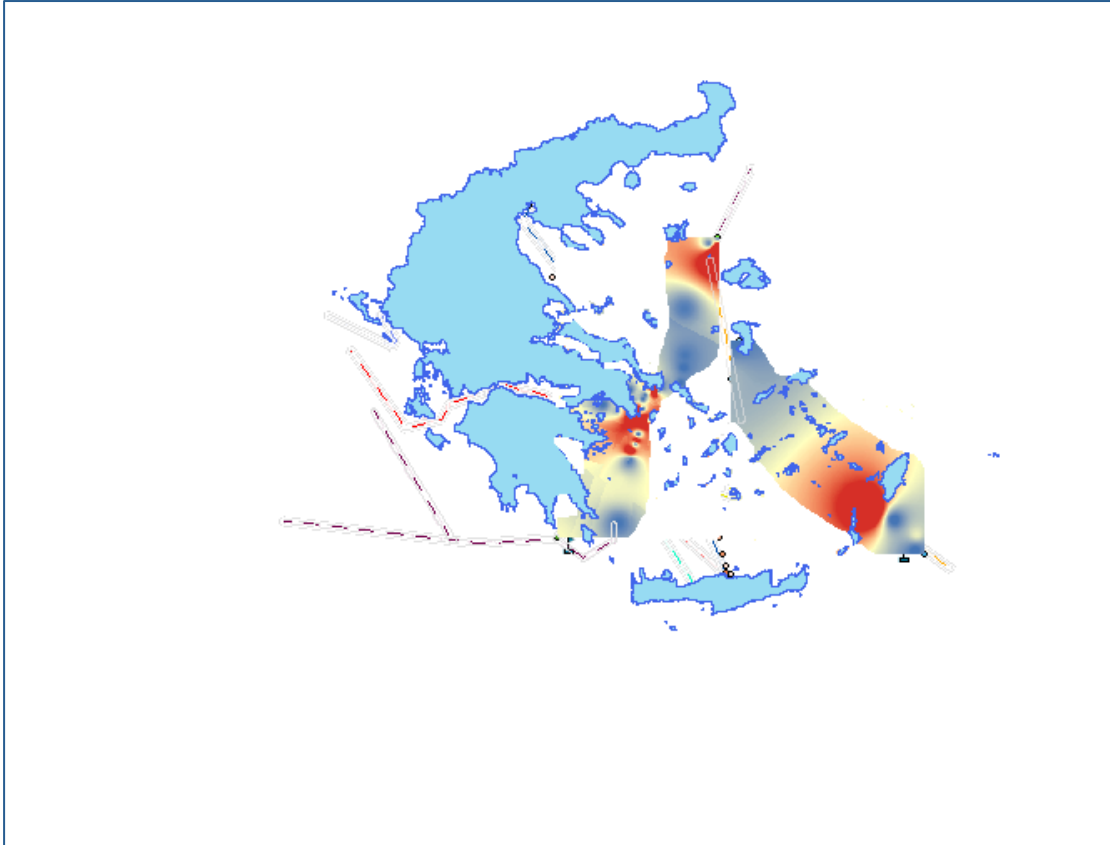
## Ανάλυση ατυχημάτων ναυσιπλοΐας στο Αιγαίο Πέλαγος



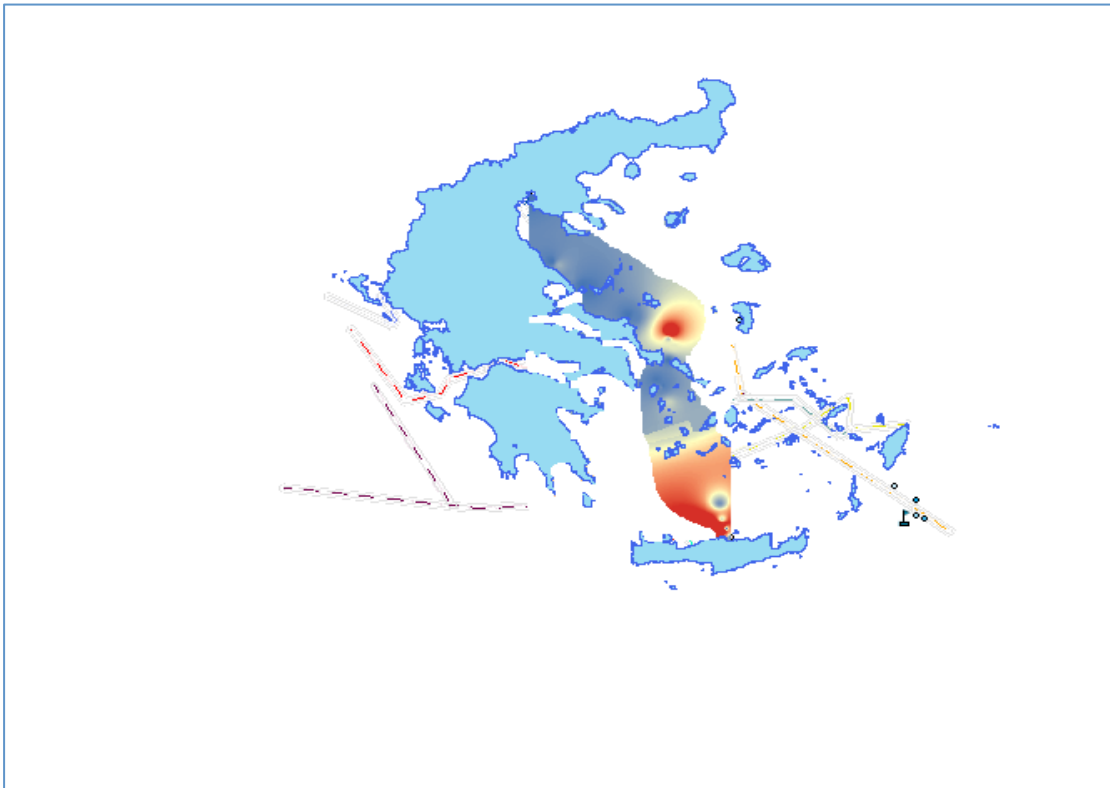
Σχήμα 48: Τύποι πλοίων



Σχήμα 49: Με περιοχές Natura ατυχήματα ναυσιπλοΐας



Σχήμα 50: Κινητική Ενέργεια των εμπλεκομένων σ' ατυχήματα πλοίων στις Ζώνες 2,6



Σχήμα 51: Κινητική Ενέργεια των εμπλεκομένων σ' ατυχήματα πλοίων στη Ζώνη 3



*Ανάλυση ατυχημάτων ναυσιπλοΐας στο Αιγαίο Πέλαγος*

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

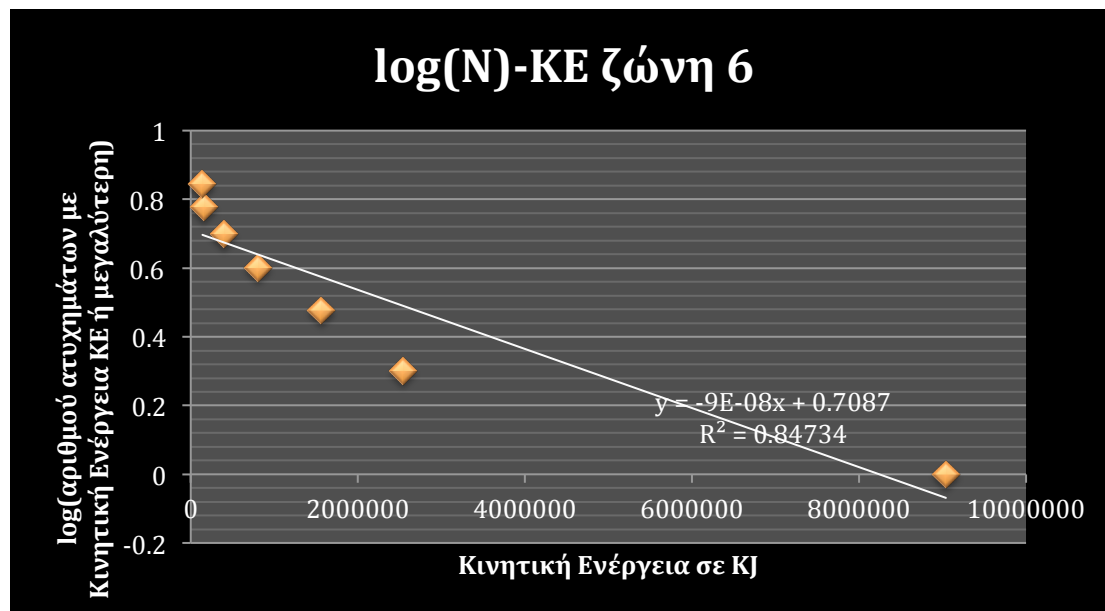
### **ΕΦΑΡΜΟΓΗ RICHTER-GUTENBERG, POISSON**



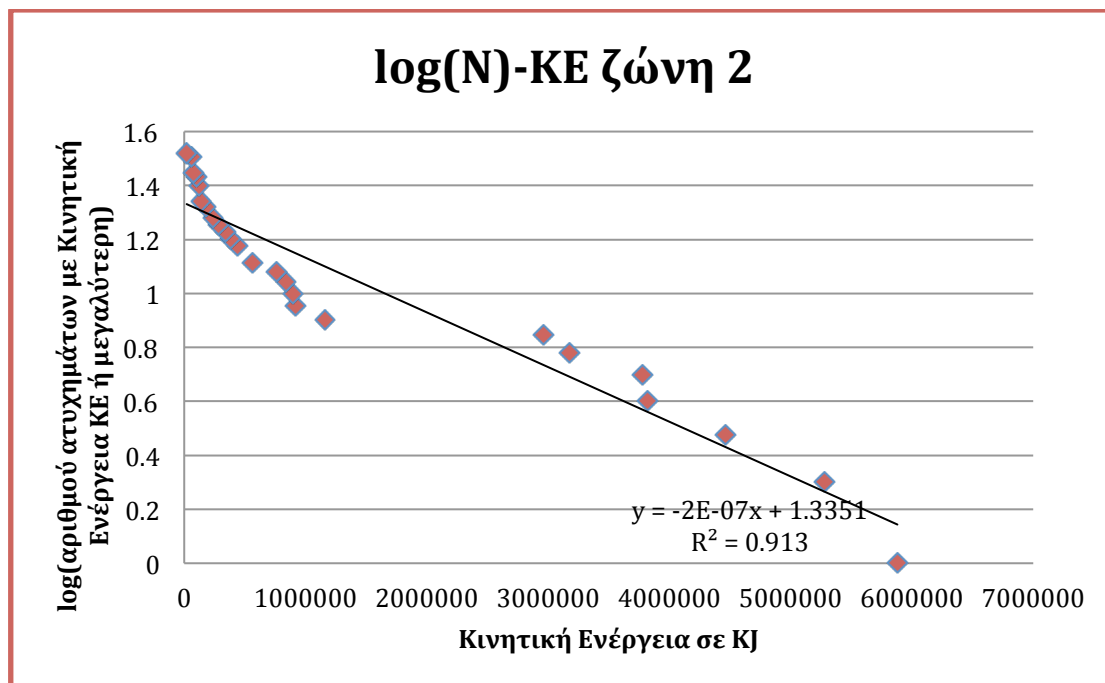


## Εφαρμογή του μοντέλου Richter-Gutenberg , Poisson

### 3.1 Παράθεση των αποτελεσμάτων των πιθανοτήτων

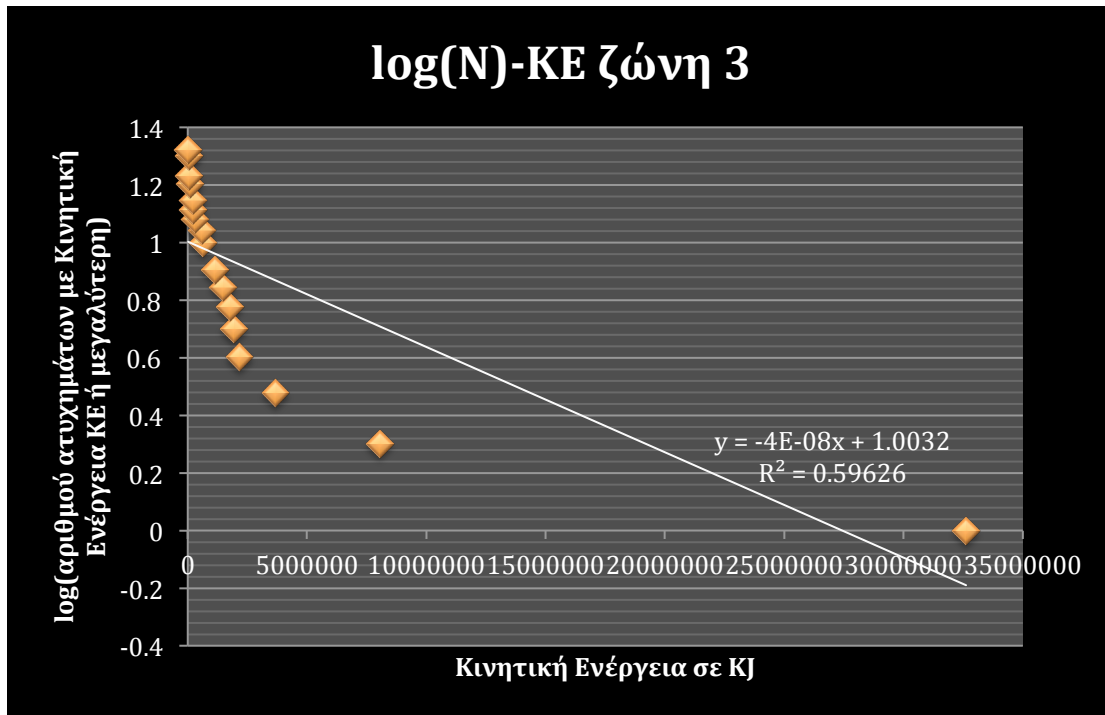


Σχήμα 52: log(αριθμού ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη)-Κινητική Ενέργεια στη Ζώνη 6



Σχήμα 53: log(αριθμού ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη)-Κινητική Ενέργεια στη Ζώνη 2





Σχήμα 54: log(αριθμού ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη)-Κινητική Ενέργεια στη Ζώνη 3

Τα παραπάνω διαγράμματα προέκυψαν ακολουθώντας την παρακάτω μέθοδο: Αρχικά βρήκαμε την ταχύτητα και το εκτόπισμα του κάθε πλοίου που είχε εμπλακεί σε ατύχημα στη κατάσταση Full Load Departure στις τρεις υπό μελέτη ζώνες, η εύρεση έγινε από το site της seaweb και από μια βάση δεδομένων του Υπουργείου Ναυτιλίας. Το εκτόπισμα της Full Load Departure επιλέχθηκε καθώς αποτελεί το μέγιστο εκτόπισμα του κάθε πλοίου και συνεπώς μας βοηθάει στο να εκφράσουμε την μέγιστη εν δυνάμει KE των πλοίων και κατ'επέκταση την μέγιστη επικινδυνότητα ναυτικού ατυχήματος στο οποίο τυχόν ένα πλοίο μπορεί να εμπλακεί. Ξέροντας τα παραπάνω μεγέθη βρήκαμε την κινητική ενέργεια του κάθε πλοίου έχοντας βέβαια προσομοιώσει την ταχύτητα σε περιοχές κοντά σε λιμάνια γύρω στους 5-9 kn.

Στη συνέχεια ομαδοποιήσαμε την Κινητική Ενέργεια ανά 20000KJ. Κατ' όπιν αυτού βρήκαμε πόσα ατυχήματα έχουν συμβεί στη κάθε ομάδα KE μεγέθους ίσου ή μεγαλύτερου από την εξεταζόμενη ομάδα Κινητικής Ενέργειας. Εν συνεχεία, λογαριθμίσαμε τον αριθμό ατυχημάτων μεγέθους ίσου ή μεγαλύτερου μιας εξεταζόμενης ομάδας Κινητικής Ενέργειας και σχηματίσαμε τα παραπάνω διαγράμματα έτσι ώστε να βγάλουμε μια σχέση της μορφής  $\log(N)=a-b \cdot M$

Την σχέση αυτή τη βρήκαμε με τη μέθοδο των ελαχιστών τετραγώνων για κάθε μία από τις τρεις ζώνες.

Από τους παρακάτω πίνακες φαίνεται ότι  $a$ ,  $b$  είναι στατιστικά σημαντικοί συντελεστές καθώς το P- Value  $<0.005$ .



Ζώνη 6:

Κινητική Ενέργεια	Log(αριθμού ατυχημάτων με κινητική ενέργεια ΚΕ ή μεγαλύτερη)
9040000	0
2540000	0.301029996
1560000	0.477121255
800000	0.602059991
400000	0.698970004
160000	0.77815125
140000	0.84509804

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Κινητική Ενέργεια-Log(αριθμού ατυχημάτων με κινητική ενέργεια ΚΕ ή μεγαλύτερη)

<b>a</b>	0.7087371545204600
<b>b</b>	-0.00000008597879407
<b>r</b>	-0.920509144

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: *a, b* Συντελεστές για το μοντέλο Richter-Gutenberg

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	0.708737155	0.05899193	12.01413752	7.04907E-05	0.557093572	0.860380737	0.557093572	0.860380737
X Variable 1	8.59788E-08	1.63209E-08	5.268006855	0.003277158	-1.27933E-07	-4.40245E-08	-1.27933E-07	-4.40245E-08

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Πίνακας στατιστικής σημαντικότητας για τα *a, b* από logistic regression





Στη ζώνη 2:

Κινητική Ενέργεια	Log(αριθμού ατυχημάτων με κινητική ενέργεια ΚΕ ή μεγαλύτερη)
5880000	0
5280000	0.301029996
4460000	0.477121255
3820000	0.602059991
3780000	0.698970004
3180000	0.77815125
2960000	0.84509804
1160000	0.903089987
920000	0.954242509
900000	1
840000	1.041392685
760000	1.079181246
560000	1.113943352
440000	1.176091259
380000	1.204119983
340000	1.230448921
280000	1.255272505
240000	1.278753601
180000	1.322219295
140000	1.342422681
120000	1.397940009
100000	1.431363764
80000	1.447158031
60000	1.505149978
20000	1.51851394

ΠΙΝΑΚΑΣ 6: Κινητική Ενέργεια-Log(αριθμού ατυχημάτων με κινητική ενέργεια ΚΕ ή μεγαλύτερη)

<b>a</b>	1.3351010436203100
<b>b</b>	-0.00000020265162167
<b>r</b>	-0.965257613

ΠΙΝΑΚΑΣ 7: a, b Συντελεστές για το μοντέλο Richter-Gutenberg

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	1.335101044	0.030353514	43.98505764	1.05571E-23	1.272310017	1.39789207	1.272310017	1.39789207
X	-2.02652E-	1.3044E-08	-	1.09385E-13	-2.29635E-	-1.75668E-	-2.29635E-	-1.75668E-
Variable 1	07		15.53600605		07	07	07	07

ΠΙΝΑΚΑΣ 8: Πίνακας στατιστικής σημαντικότητας για τα a, b από logistic regression





Ζώνη 3:

Κινητική Ενέργεια	Log(αριθμού ατυχημάτων με κινητική ενέργεια ΚΕ ή μεγαλύτερη
32620000	0
8040000	0.301029996
3680000	0.477121255
2160000	0.602059991
1940000	0.698970004
1780000	0.77815125
1480000	0.84509804
1140000	0.903089987
640000	1
580000	1.041392685
280000	1.079181246
220000	1.113943352
200000	1.146128036
100000	1.204119983
60000	1.230448921
40000	1.301029996
20000	1.322219295

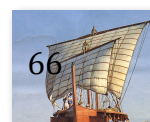
ΠΙΝΑΚΑΣ 9: Κινητική Ενέργεια-Log(αριθμού ατυχημάτων με κινητική ενέργεια ΚΕ ή μεγαλύτερη)

<b>a</b>	1.0032374852425400
<b>b</b>	-0.00000003657790491
<b>r</b>	-0.781147025

ΠΙΝΑΚΑΣ 10: a, b Συντελεστές για το μοντέλο Richter-Gutenberg

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	1.003237485	0.064147884	15.63944786	1.07529E-10	0.866509508	1.139965463	0.866509508	1.139965463
X Variable 1	-3.65779E-08	7.77147E-09	-4.706693149	0.000280988	-5.31424E-08	-2.00134E-08	-5.31424E-08	-2.00134E-08

ΠΙΝΑΚΑΣ 11: Πίνακας στατιστικής σημαντικότητας για τα a, b από logistic regression

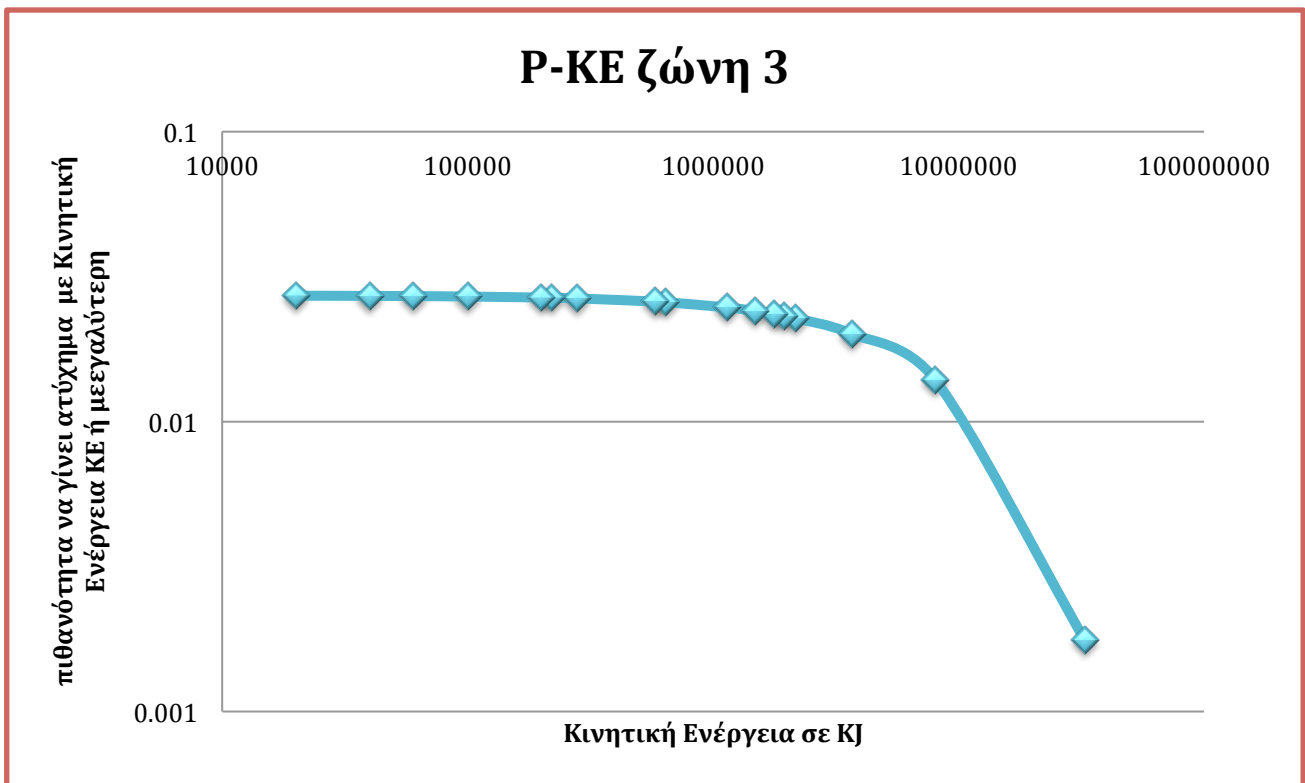




Η πιθανότητα,  $P_t$ , να γίνει ατύχημα με Κινητική Ενέργεια ΚΕ ή μεγαλύτερη κατά το χρονικό διάστημα  $t$ , υποθέτοντας χρονική κατανομή Poisson δίνεται από την σχέση:

$$P_t = 1 - e^{(-10^{(a-bM)} \cdot t)} \quad (2)$$

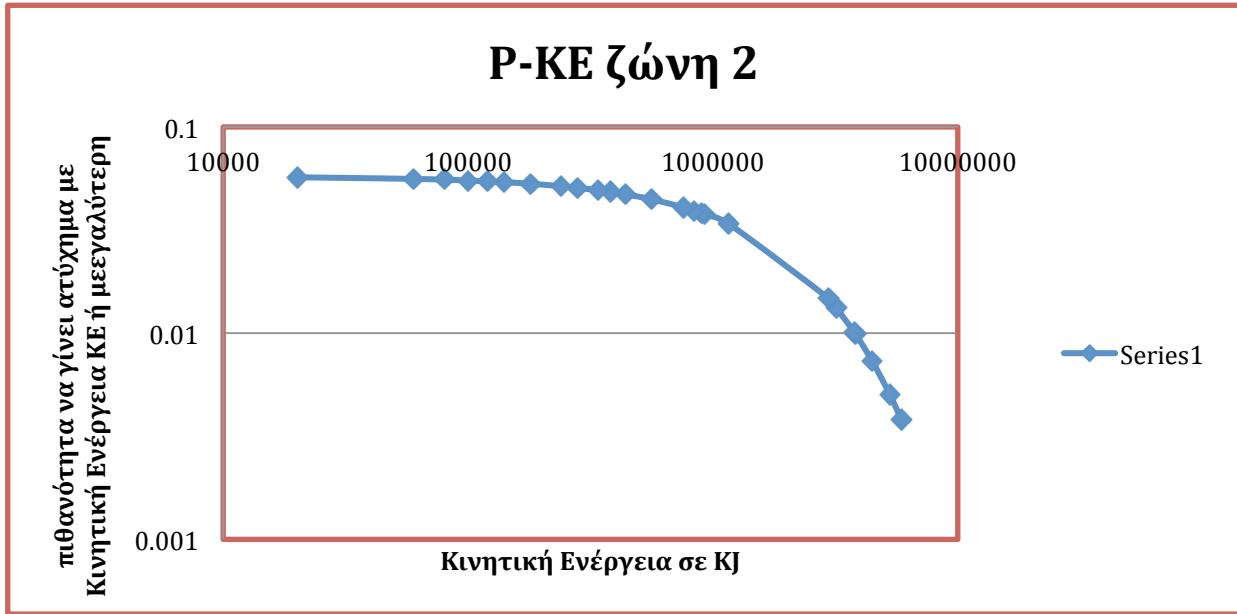
Με βάση τη σχέση αυτή υπολογίζουμε τις πιθανότητες να γίνει ατύχημα στις τρεις κύριες ζώνες σε μια ημέρα τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα 3 παρακάτω διαγράμματα :



Σχήμα 55: Πιθανότητα να γίνει ατύχημα με Κινητική Ενέργεια ΚΕ ή μεγαλύτερη-Κινητική Ενέργεια στη Ζώνη 3

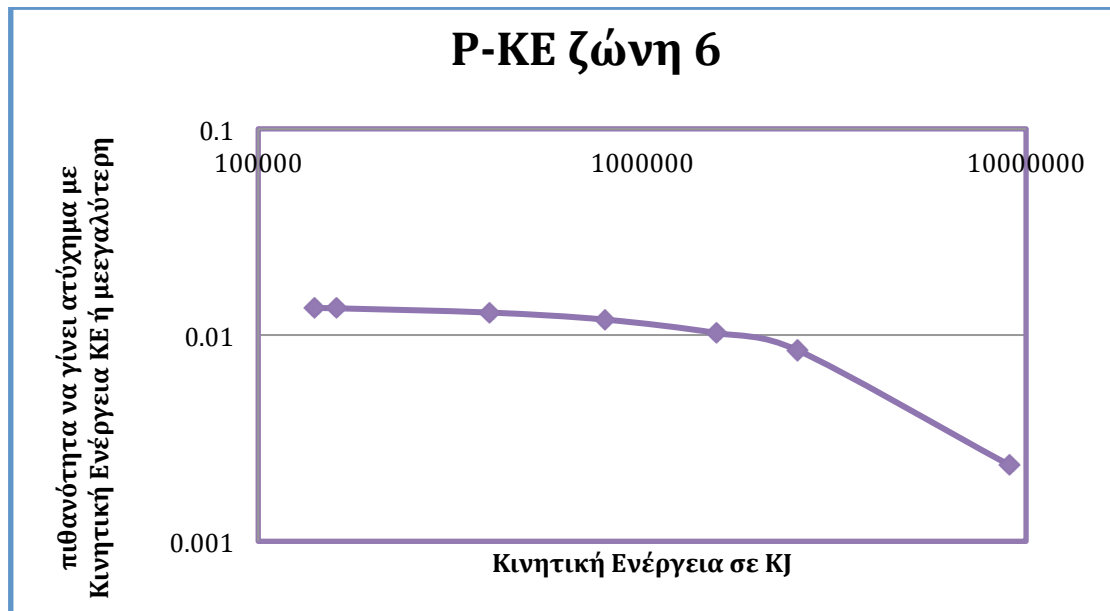
Από το παραπάνω σχήμα βλέπουμε ότι η πιθανότητα να γίνει ατύχημα σε μια ημέρα στη ζώνη Θεσσαλονίκη-Ηράκλειο είναι της τάξεως του  $10^{-3}$  θεωρώντας ως αντιπροσωπευτικό το δεξιό σημείο λόγω του ότι είναι αθροιστική η πιθανότητα.



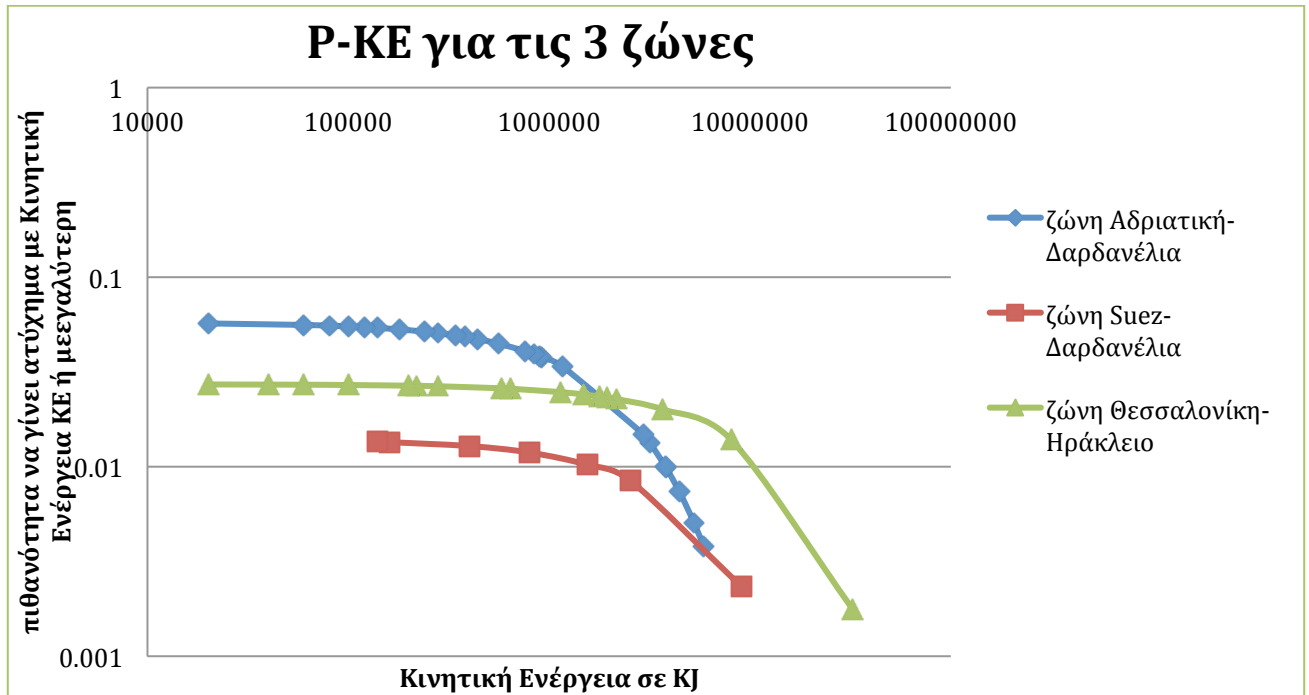


Σχήμα 56: Πιθανότητα να γίνει ατύχημα με Κινητική Ενέργεια ΚΕ ή μεγαλύτερη-Κινητική Ενέργεια στη Ζώνη 2

Από το παραπάνω και παρακάτω σχήμα βλέπουμε ότι η πιθανότητα να γίνει ατύχημα σε μια ημέρα στη ζώνη Αδριατική-Δαρδανέλια και Σουέζ-Δαρδανέλια είναι της τάξεως του  $10^{-3}$  θεωρώντας ως αντιπροσωπευτικό το δεξιά σημείο λόγω του ότι είναι αθροιστική η πιθανότητα.



Σχήμα 57: Πιθανότητα να γίνει ατύχημα με Κινητική Ενέργεια ΚΕ ή μεγαλύτερη-Κινητική Ενέργεια στη Ζώνη 6



Σχήμα 58: Σύγκριση των πιθανοτήτων να γίνει ατύχημα με Κινητική Ενέργεια ΚΕ ή μεγαλύτερη-Κινητική Ενέργεια και στις 3 ζώνες

Από το παραπάνω σχήμα βλέπουμε ότι μεγαλύτερη πιθανότητα (συγκρίνοντας το δεξιά σημείο της κάθε καμπύλης λόγω του ότι είναι αθροιστική η πιθανότητα) να γίνει ατύχημα έχουμε στη ζώνη Αδριατική-Δαρδανέλια, ενώ την μικρότερη πιθανότητα την συναντάμε στη ζώνη Θεσσαλονίκη-Ηράκλειο κάτι το οποίο δικαιολογείται από το γεγονός ότι στη ζώνη αυτή έχει σημειωθεί ατύχημα με τη μεγαλύτερη καταγραφόμενη Κινητική Ενέργεια, παράγοντας που επιδρά στη μείωση της πιθανότητας.

Κινητική Ενέργεια στη ζώνη Suez-Δαρδανέλια σε KJ	Πιθανότητα να γίνει ατύχημα μεγέθους M ή μεγαλύτερο σ' ένα χρόνο στη ζώνη Σουέζ-Δαρδανέλια	Πιθανότητα να γίνει ατύχημα σε μία μέρα μεγέθους M ή μεγαλύτερο στη ζώνη Σουέζ-Δαρδανέλια	Πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο μεγέθους M ή μεγαλύτερο στη ζώνη Σουέζ-Δαρδανέλια
904000	0.574317252	0.002337158	7.61289E-06
254000	0.954625008	0.008437611	2.74841E-05
156000	0.976599609	0.010234941	3.33386E-05
80000	0.987281494	0.011886861	3.87194E-05
40000	0.991123863	0.012860124	4.18897E-05
16000	0.992946843	0.013481667	4.39142E-05
14000	0.993084121	0.01353479	4.40873E-05

ΠΙΝΑΚΑΣ 12: Παράθεση πιθανοτήτων να πάθει ατύχημα ένα πλοίο και να γίνει ατύχημα στη ζώνη 6





*Ανάλυση ατυχημάτων ναυσιπλοΐας στο Αιγαίο Πέλαγος*

Κινητική Ενέργεια στη ζώνη Αδριατική-Δαρδανέλια σε KJ	Πιθανότητα να γίνει ατύχημα μεγέθους M ή μεγαλύτερο σ' ένα χρόνο στη ζώνη Αδριατική-Δαρδανέλια	Πιθανότητα να γίνει ατύχημα σε μία μέρα μεγέθους M ή μεγαλύτερο στη ζώνη Αδριατική-Δαρδανέλια	Πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο μεγέθους M ή μεγαλύτερο στη ζώνη Αδριατική-Δαρδανέλια
5880000	0.751318983	0.003805301	5.29986E-06
5280000	0.841372714	0.005031676	7.00791E-06
4460000	0.932757315	0.007368464	1.02625E-05
3820000	0.973719143	0.009920097	1.38163E-05
3780000	0.975460526	0.010106046	1.40753E-05
3180000	0.992593057	0.013349377	1.85924E-05
2960000	0.99564164	0.014781877	2.05876E-05
1160000	0.99996594	0.033905	4.72214E-05
920000	0.99999234	0.037845823	5.27101E-05
900000	0.99999329	0.038193807	5.31947E-05
840000	0.99999552	0.039256676	5.4675E-05
760000	0.99999743	0.040719003	5.67117E-05
560000	0.99999942	0.044611915	6.21336E-05
440000	0.99999978	0.047119729	6.56264E-05
380000	0.99999986	0.048424677	6.74438E-05
340000	0.99999999	0.049314136	6.86826E-05
280000	0.99999994	0.050678224	7.05825E-05
240000	0.99999996	0.051607943	7.18774E-05
180000	0.99999998	0.053033694	7.38631E-05
140000	0.99999998	0.054005384	7.52164E-05
120000	0.99999999	0.054497692	7.59021E-05
100000	0.99999999	0.054994355	7.65938E-05
80000	0.99999999	0.055495411	7.72917E-05
60000	0.99999999	0.056000895	7.79957E-05
20000	1	0.057025296	7.94224E-05

*ΠΙΝΑΚΑΣ 13: Παράθεση πιθανοτήτων να πάθει ατύχημα ένα πλοίο και να γίνει ατύχημα στη ζώνη 2*





Κινητική Ενέργεια στη ζώνη Θεσ/κη-Ηράκλειο σε KJ	Πιθανότητα να γίνει ατύχημα μεγέθους M ή μεγαλύτερο σ' ένα χρόνο στη ζώνη Θεσ/κη- Ηράκλειο	Πιθανότητα να γίνει ατύχημα σε μία μέρα μεγέθους M ή μεγαλύτερο στη ζώνη Θεσ/κη- Ηράκλειο	Πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο μεγέθους M ή μεγαλύτερο στη ζώνη Θεσ/κη- Ηράκλειο
32620000	0.47573222	0.001767621	1.86562E-05
8040000	0.9940156	0.013925688	3.8981E-05
3680000	0.999382461	0.020042366	3.91915E-05
2160000	0.999774915	0.02274831	3.92069E-05
1940000	0.999807634	0.023168782	3.92081E-05
1780000	0.999828717	0.023479393	3.9209E-05
1480000	0.999862805	0.024072919	3.92103E-05
1140000	0.999894043	0.024763508	3.92115E-05
640000	0.999928523	0.025814749	3.92129E-05
580000	0.999931898	0.025943821	3.9213E-05
280000	0.999946723	0.026598791	3.92136E-05
220000	0.999949314	0.026731729	3.92137E-05
200000	0.999950152	0.026776187	3.92137E-05
100000	0.999954159	0.026999573	3.92139E-05
60000	0.999955678	0.027089442	3.92139E-05
40000	0.999956421	0.027134486	3.9214E-05
20000	0.999957153	0.027179605	3.9214E-05

ΠΙΝΑΚΑΣ 14: Παράθεση πιθανοτήτων να πάθει ατύχημα ένα πλοίο και να γίνει ατύχημα στη ζώνη 3

### 3.2 Παράθεση των αντίστοιχων μέτρων σεισμικότητας για τα ατυχήματα

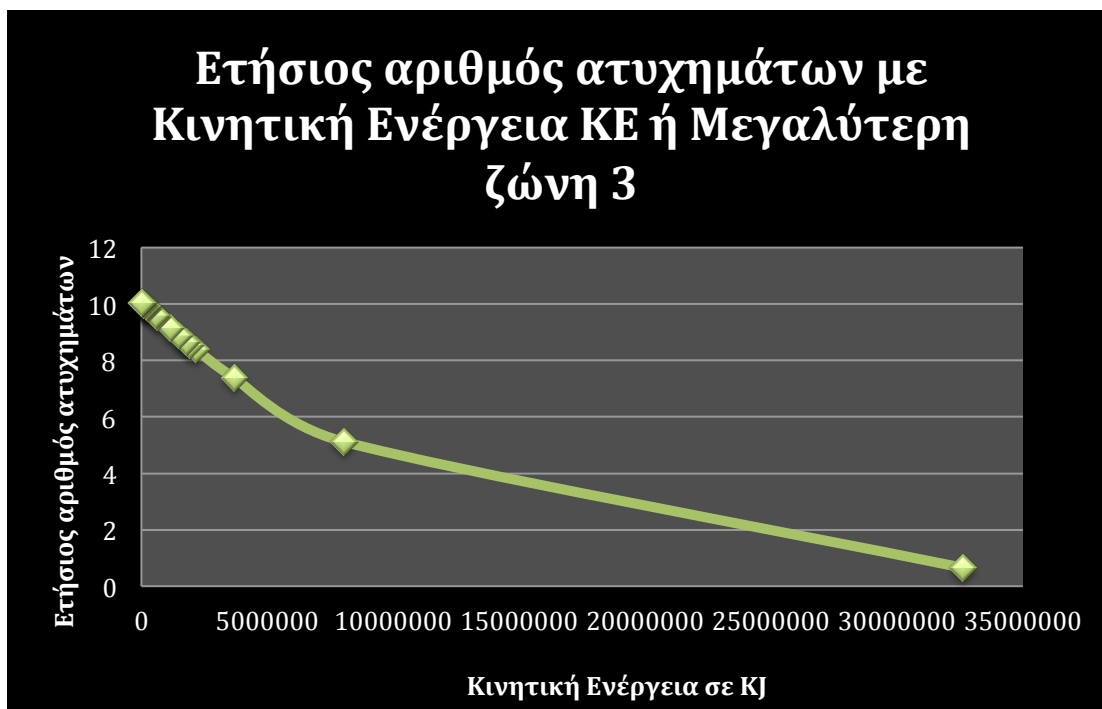
Ένα άλλο μέτρο επικινδυνότητας είναι ο ετήσιος αριθμός σεισμών με μέγεθος M ή μεγαλύτερο:

$$N_m = \frac{10^a}{10^{bM}}$$

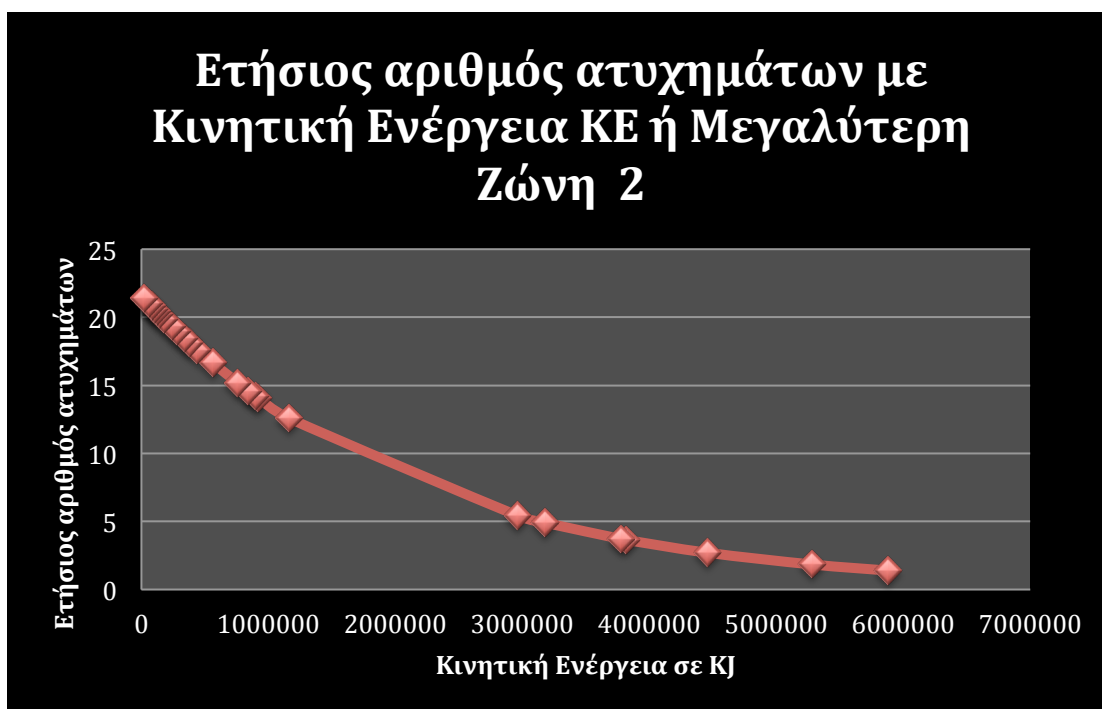
Ο οποίος είναι ο αντίστροφος της μέσης περιόδου επανάληψης ναυτικών ατυχημάτων και για τρεις ζώνες Tm, ακολουθούν τα διαγράμματα όπου M βάζουμε την Κινητική Ενέργεια:

Από τα παρακάτω διαγράμματα διαπιστώνουμε ότι υποεκτιμάται κατά πολύ η μέση περίοδος επανάληψης των ναυτικών ατυχημάτων εφαρμόζοντας τον παραπάνω τύπο του Richter-Gutenberg.



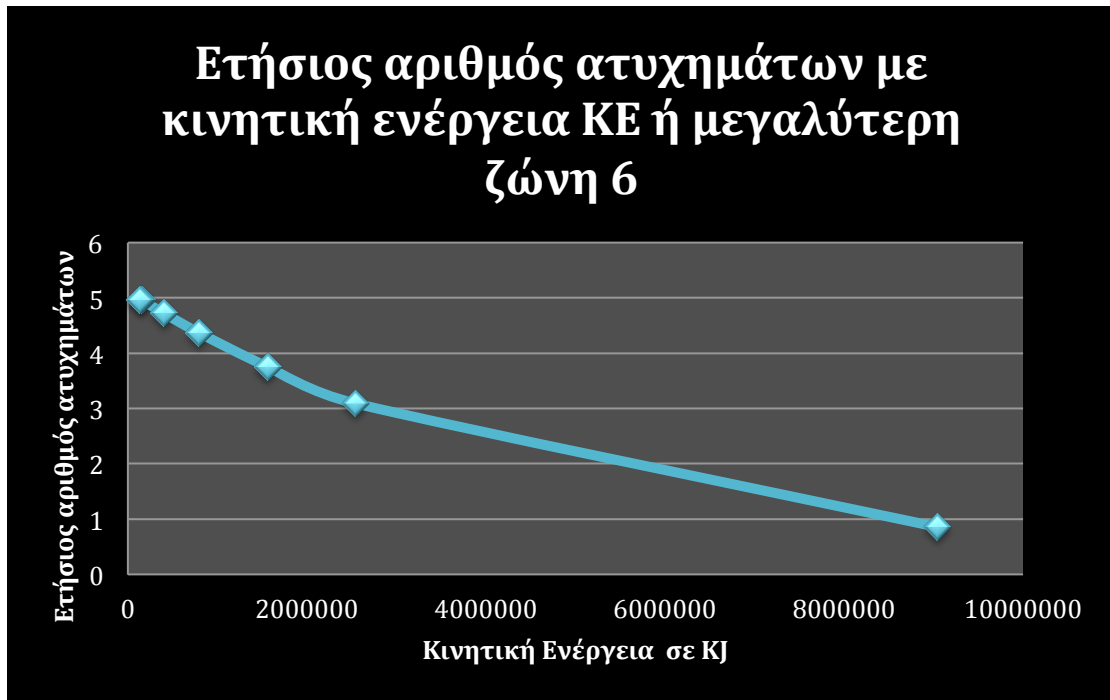


Σχήμα 59: Ετήσιος αριθμός ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια ΚΕ ή μεγαλύτερη-Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 3

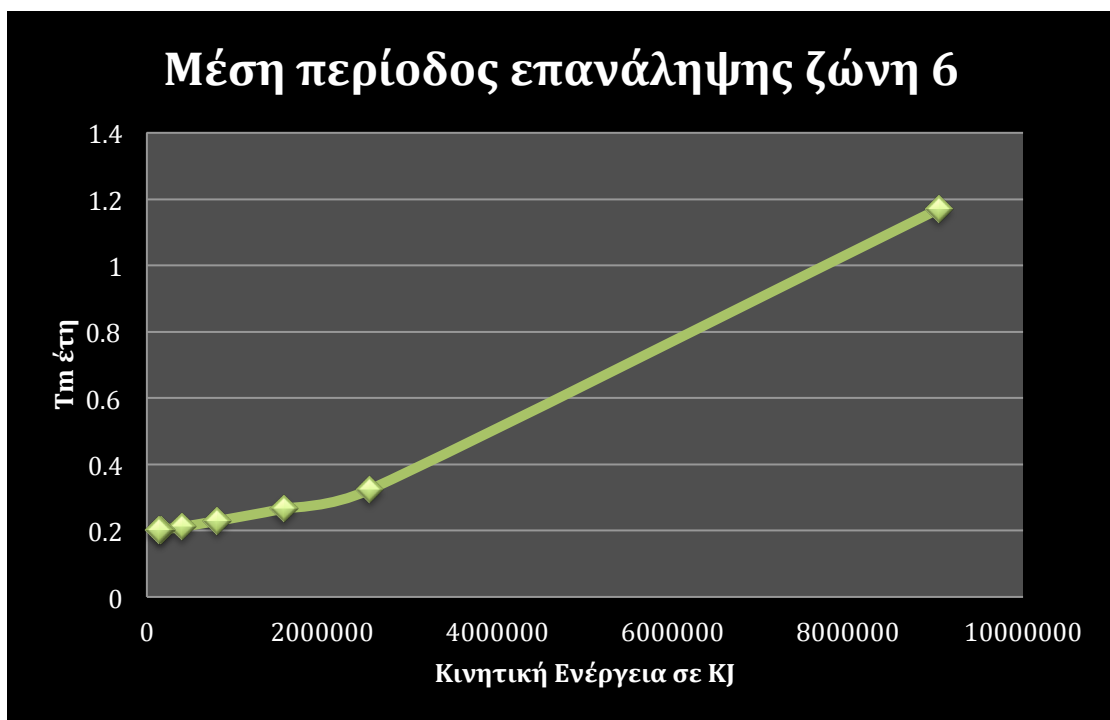


Σχήμα 60: Ετήσιος αριθμός ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια ΚΕ ή μεγαλύτερη-Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 2





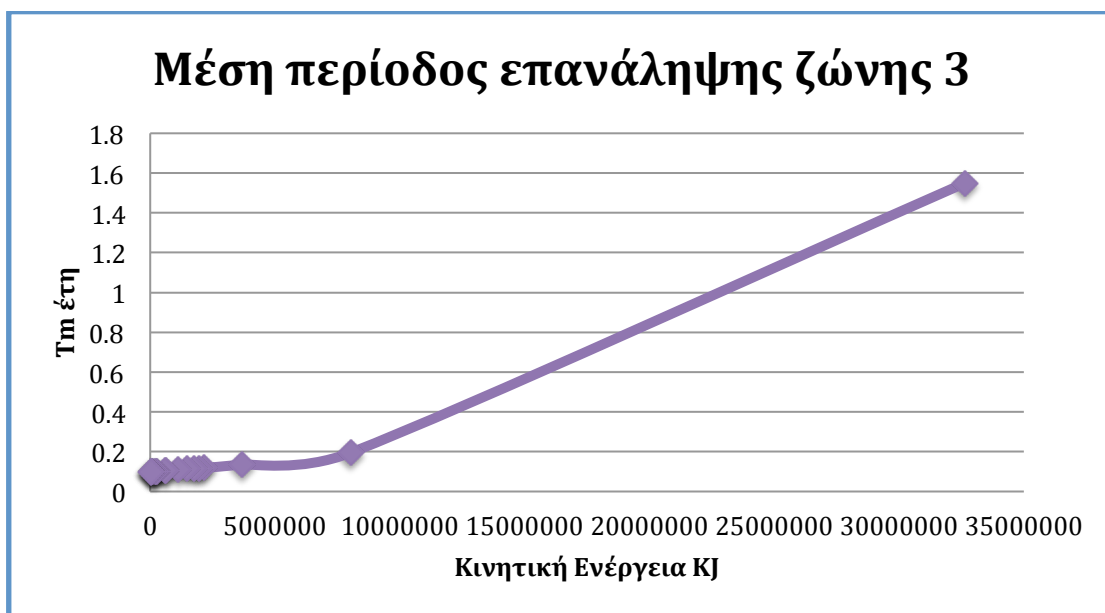
Σχήμα 61: Ετήσιος αριθμός ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια ΚΕ ή μεγαλύτερη-Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 6



Σχήμα 62: Μέση περίοδος επανάληψης σε έτη-Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 6

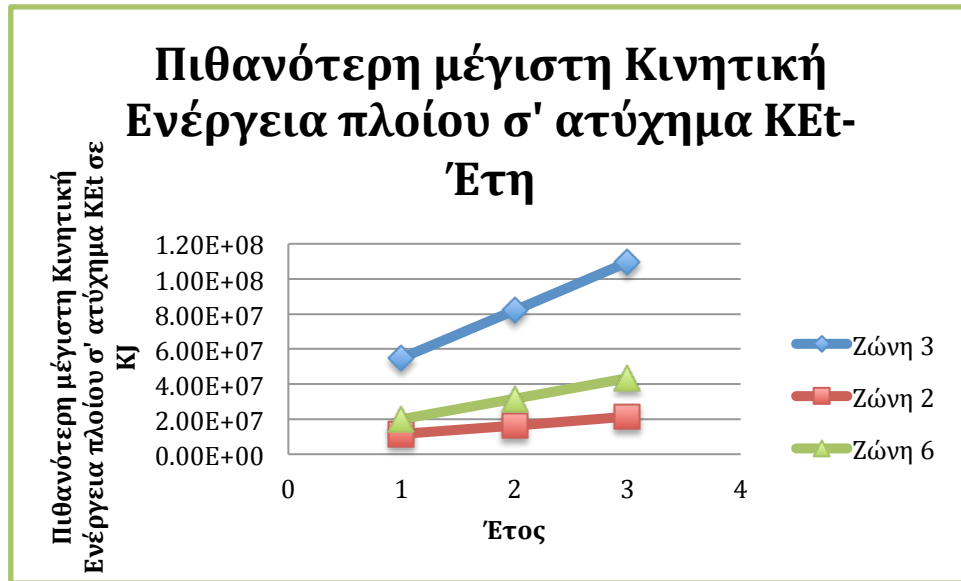


Σχήμα 63: Μέση περίοδος επανάληψης σε έτη-Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 2



Σχήμα 64: Μέση περίοδος επανάληψης σε έτη-Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 3

Από τα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε ότι ο ετήσιος αριθμός ατυχημάτων με το μοντέλο Richter-Gutenberg υπερεκτιμάται κατά πολύ.



Σχήμα 65: Πιθανότερη μέγιστη Κινητική Ενέργεια πλοίου σ' ατύχημα -Έτη στις 3 ζώνες

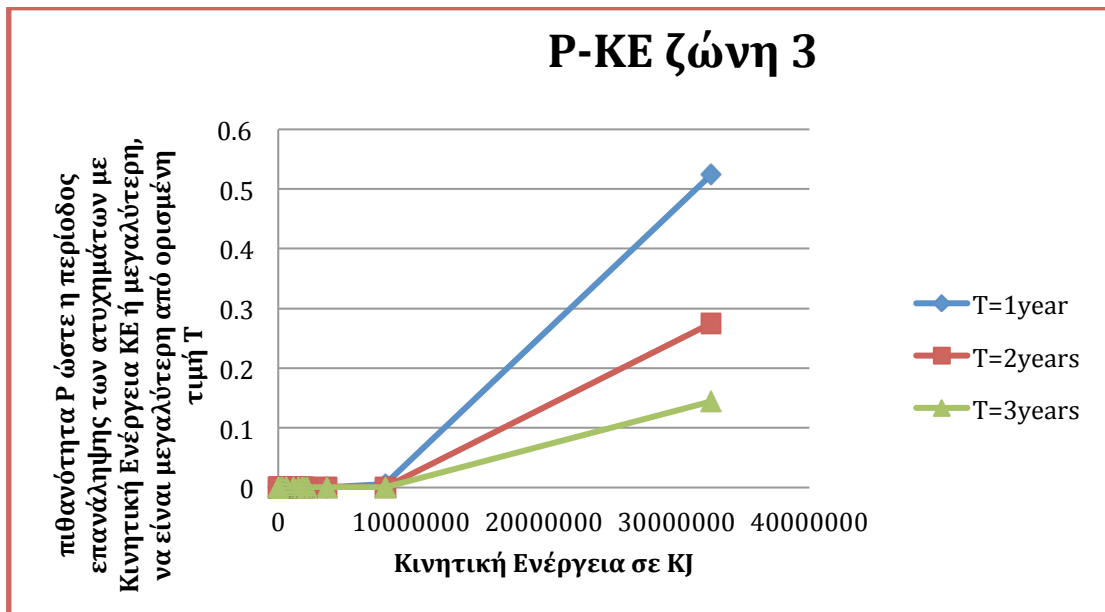
Το παραπάνω διάγραμμα προέκυψε εφαρμόζοντας το μέτρο από το μοντέλο Richter-Gutenberg από την σχέση (3). Ο άξονας των x είναι τα έτη που μεσολαβούν από το 2010 (2011, 2012, 2013).

Η συχνότερα παρατηρούμενη μέγιστη ετήσια Κινητική Ενέργεια πλοίου σ' ατύχημα ναυσιπλοΐας που προκύπτει από τον τύπο  $KE_{\text{αναμενόμενο}} = a/b$  για την κάθε ζώνη είναι:

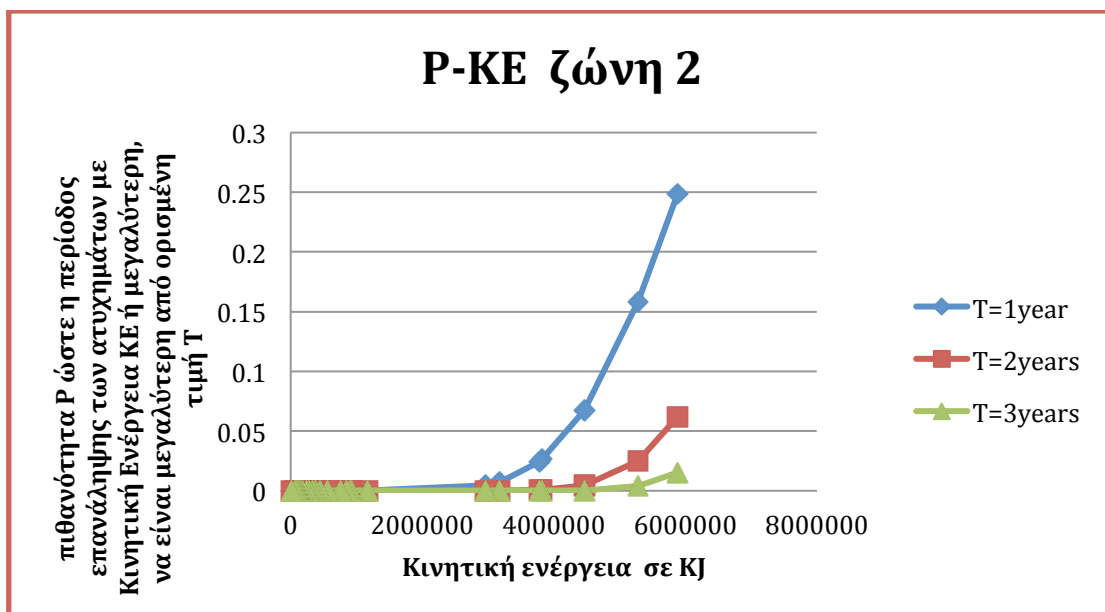
- ⊗ Στη Ζώνη 3  $KE_{\text{αναμενόμενο}} = 27427 \text{ MJ}$
- ⊗ Στη Ζώνη 2  $KE_{\text{αναμενόμενο}} = 6588 \text{ MJ}$
- ⊗ Στη Ζώνη 6  $KE_{\text{αναμενόμενο}} = 8243 \text{ MJ}$

Η πιθανότητα P ώστε η περίοδος επανάληψης των ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη, να είναι μεγαλύτερη από ορισμένη τιμή T δίνεται από την παρακάτω σχέση ακολουθούν τα διαγράμματα και για τις τρεις ζώνες:

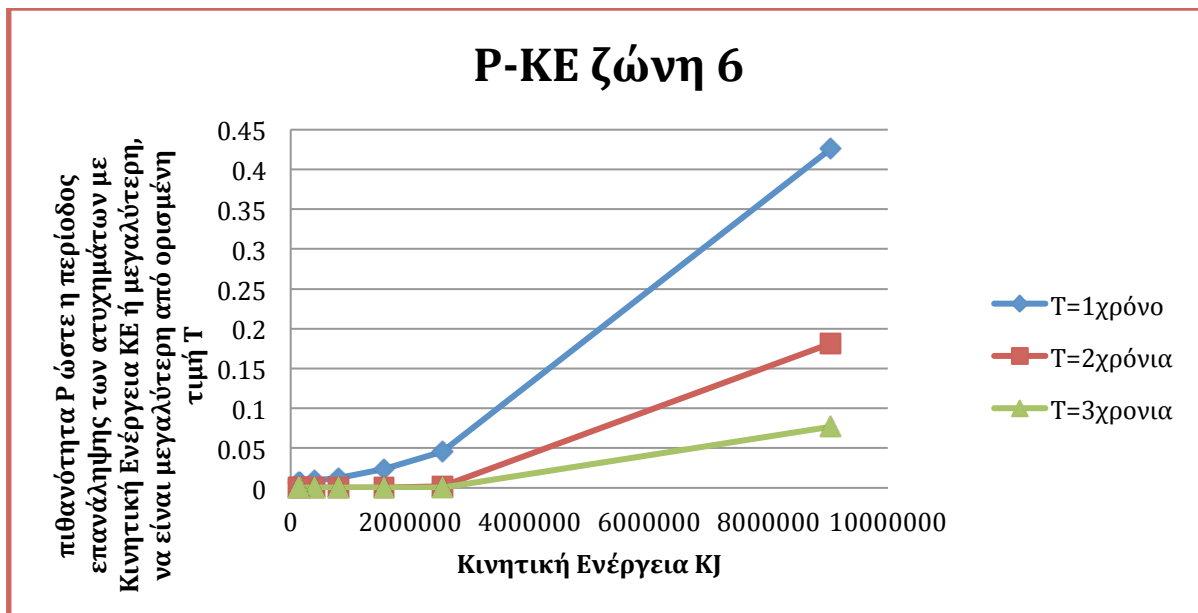
$$P = \exp\left(-\frac{T}{T_m}\right)$$



Σχήμα 66: Πιθανότητα  $P$  ώστε η περίοδος επανάληψης των ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια  $KE$  ή μεγαλύτερη, να είναι μεγαλύτερη από ορισμένη τιμή  $T=1,2,3$  χρόνια – Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 3



Σχήμα 67: Πιθανότητα  $P$  ώστε η περίοδος επανάληψης των ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια  $KE$  ή μεγαλύτερη, να είναι μεγαλύτερη από ορισμένη τιμή  $T=1,2,3$  χρόνια – Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 2



Σχήμα 68: Πιθανότητα P ώστε η περίοδος επανάληψης των ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη, να είναι μεγαλύτερη από ορισμένη τιμή T=1,2,3 χρόνια – Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 6

Από τα παραπάνω διαγράμματα διαπιστώνουμε ότι η πιθανότητα P (ώστε η περίοδος επανάληψης των ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη, να είναι μεγαλύτερη από ορισμένη τιμή T=1,2,3 χρόνια), υποεκτιμάται καθώς υποεκτιμάται το Tm

### 3.3 Ασυμπτωτικές κατανομές των ακραίων τιμών (Gumbel)

Μία ιδιαίτερη κατηγορία επίλυσης του προβλήματος της επικινδυνότητας που σχετίζεται με την εύρεση πιθανοτήτων τυχαίων μεταβλητών είναι αυτή που σχετίζεται με τις ακραίες τιμές (extreme values).

Αν και η θεωρία των ακραίων τιμών αναφέρεται τόσο στις μέγιστες όσο και στις ελάχιστες τιμές στην επικινδυνότητα για ναυτικό ατύχημα ενδιαφερόμαστε πρωτίστως για τις μέγιστες τιμές. Αποδείχτηκε ότι οι ακραίες μέγιστες τιμές τείνουν προς κάποιο συγκεκριμένο όριο με ασυμπτωτική συμπεριφορά.

Η θεωρία περιέχει 3 κατανομές ακραίων τιμών. Στη επικινδυνότητα για ναυτικό ατύχημα δεν ενδιαφερόμαστε για την 2<sup>η</sup> που παρουσιάζει μόνο κάτω όριο, αλλά για την πρώτη και την τρίτη όπως στη σεισμολογία.



Οι εξισώσεις που περιγράφουν τις 3 ασύμπτωτες κατανομές των ακραίων τιμών είναι:

$$\begin{aligned} 1\eta \quad G^I(x) &= \exp(-\exp(-a(x-u))), \quad a > 0 \\ 2\eta \quad G^{II}(x) &= \exp\left(-\left(\frac{u-\gamma}{x-\gamma}\right)^k\right), \quad k > 0, x \geq \gamma, u > \gamma \geq 0 \\ 3\eta \quad G^{III}(x) &= \exp\left(-\left(\frac{\omega-x}{\omega-u}\right)^k\right), \quad k > 0, x \leq \omega, u < \omega \end{aligned}$$

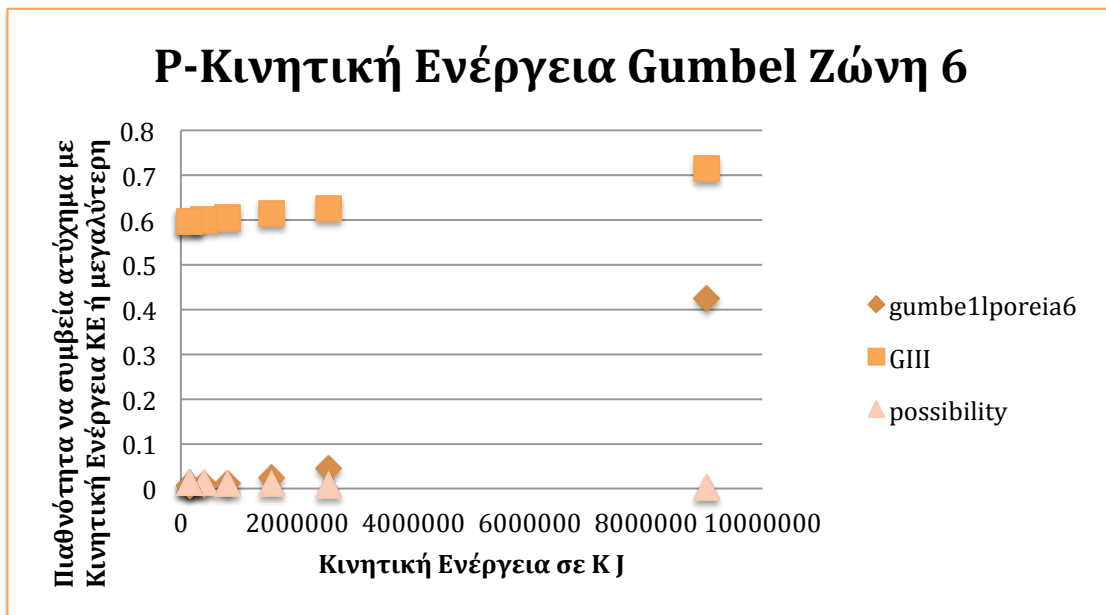
Και στις 3 κατανομές η  $G(x)$  είναι η πιθανότητα να είναι η μεταβλητή  $x$  η μέγιστη Κινητική Ενέργεια πλοίου που περνάει από το Αιγαίο π.χ. Το Emma Maersk με  $KE=51259MJ$ , εφόσον εφαρμόζουμε την μέθοδο στην επικινδυνότητα των ναυτικών ατυχημάτων, που σημαίνει ότι η  $G(x)$  είναι η ετήσια πιθανότητα να μην γίνει υπέρβαση της τιμής του  $x$ .

Η παράμετρος  $u$  και στις 3 κατανομές είναι η χαρακτηριστική τιμή της μεταβλητής  $x$  να έχει πιθανότητα  $G(u)=1/e=0.36$  να είναι το μέγιστο ετήσιο μέγεθος.

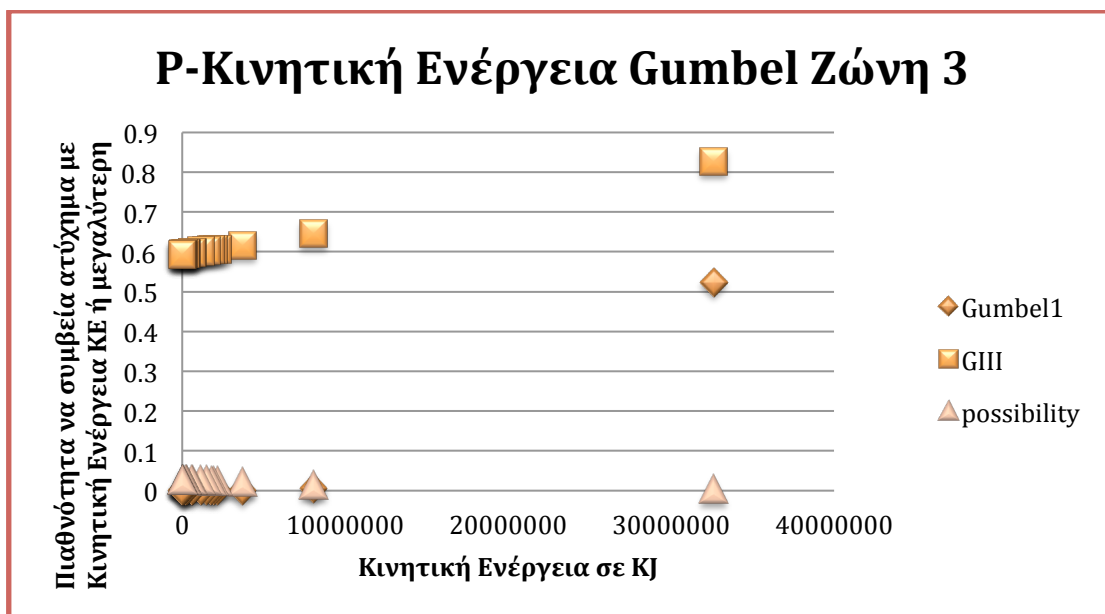
- ⊗ Η κατανομή της 1<sup>ης</sup> ασύμπτωτης δεν έχει άνω και κάτω όριο.
- ⊗ Η κατανομή της 2<sup>ης</sup> ασύμπτωτης έχει μόνο κάτω όριο ( $x \geq \gamma$ ) και δεν μας ενδιαφέρει στην επικινδυνότητα.
- ⊗ Η κατανομή της 3<sup>ης</sup> ασύμπτωτης έχει «άνω όριο» μεγέθους ( $x \leq \omega$ ). Η παράμετρος  $\omega$  είναι χαρακτηριστική κάθε περιοχής. Τα ατυχήματα που συμβαίνουν σε μία περιοχή όπως το Αιγαίο σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να υπερβούν την παράμετρο αυτή ( $KE=51200 MJ$ ) δηλαδή το «άνω όριο» είναι δε  $G(\omega)=1$ .

Από τα παρακάτω διαγράμματα διαπιστώνουμε ότι οι προκύπτουσες πιθανότητες για όλες τις Κινητικές Ενέργειες των πλοίων που έχουν εμπλακεί σ' ατύχημα ναυσιπλοΐας είναι εντός των αποδεκτών ορίων όπως αυτά εκφράζονται από τις ακραίες τιμές Gumbel και κυρίως από την κατανομή της 3<sup>ης</sup> ασύμπτωτης.

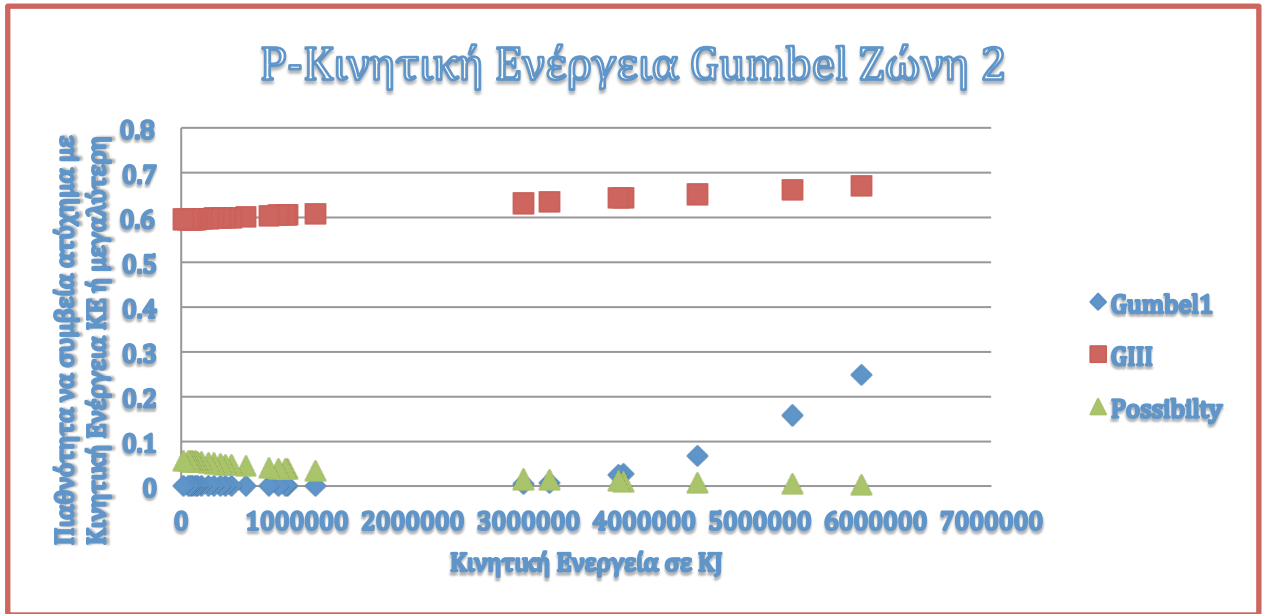




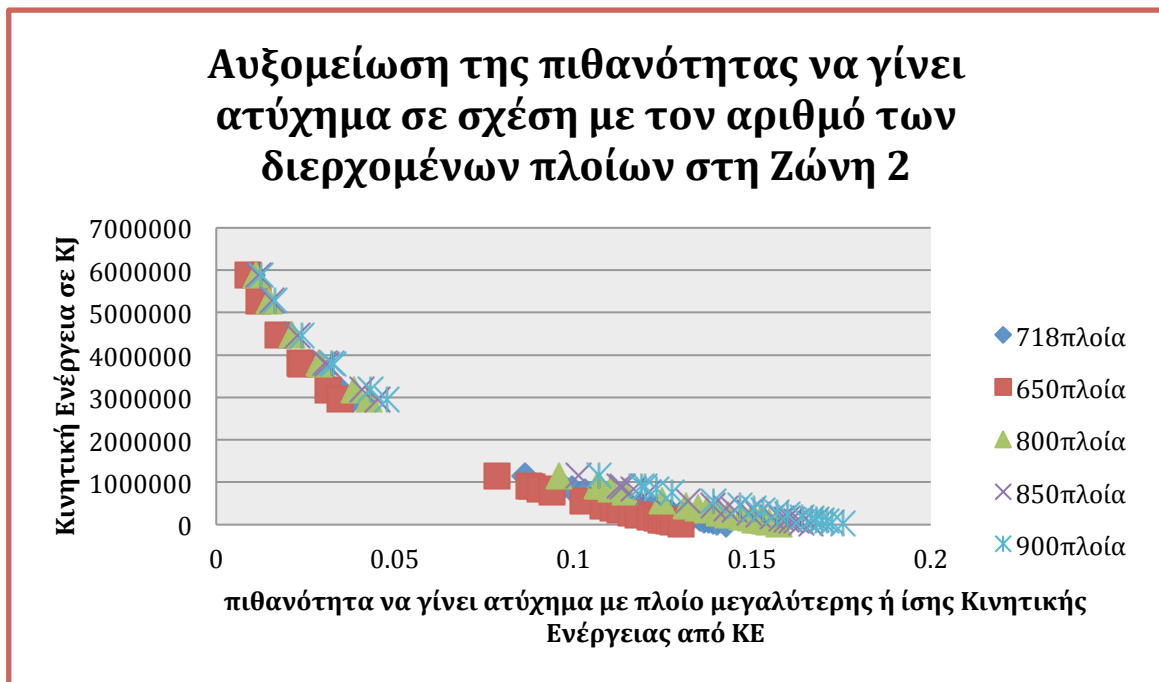
Σχήμα 69: Πιθανότητα να συμβεί ατύχημα με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη–Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 6



Σχήμα 70: Πιθανότητα να συμβεί ατύχημα με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη–Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 3



Σχήματα 71,72: Πιθανότητα να συμβεί ατύχημα με Κινητική Ενέργεια ΚΕ ή μεγαλύτερη– Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 2





## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ POISSON**





## Εφαρμογή της στοχαστικής διαδικασίας Poisson

### 4.1 Εισαγωγή

Πριν προχωρήσουμε στην εφαρμογή της κατανομής Poisson, θα αναφέρουμε τα βήματα που ακολουθήσαμε έως ότου να καταστεί δυνατή η εφαρμογή αυτή. Στη δικιά μας περίπτωση, των ατυχημάτων ναυσιπλοΐας στο Αιγαίο επειδή δεν έχουμε σταθερό ρυθμό ατυχημάτων κάθε χρόνο, έχουμε μη ομογενή κατανομή Poisson. Συγκεκριμένα ο ρυθμός ατυχημάτων αλλάζει με τον χρόνο, συνεπώς η γενική συνάρτηση συχνότητας/ρυθμού δίνεται σαν  $\lambda(t)$ . Τώρα ο αναμενόμενος αριθμός γεγονότων/ατυχημάτων μεταξύ του χρόνου  $a$  και  $b$  είναι :

$$\lambda_{a,b} = \int_a^b \lambda(t) dt$$

Σχέση (1)

Συνεπώς, ο αριθμός των ατυχημάτων στο χρονικό διάστημα  $[a,b]$ , δίνεται σαν  $N(b)-N(a)$ , ακολουθεί κατανομή Poisson με σχετική παράμετρο  $\lambda_{a,b}$ :

$$P[(N(b) - N(a)) = k] = \frac{e^{-\lambda_{a,b}} \cdot \lambda_{a,b}^k}{k!}, k = 0, 1, \dots$$

Σχέση (2)

Για να βρούμε τις συχνότητες των ατυχημάτων θα πρέπει να βρούμε τον αριθμό των διερχομένων πλοίων-“υγιά πληθυσμό” για τις τρεις κύριες ζώνες του Αιγαίου. Η εταιρία IMIS μας παραχώρησε μια βάση δεδομένων μεγέθους 4 TB στην οποία υπήρχαν τα στίγματα όλων των διερχομένων πλοίων στο Αιγαίο από τα μέσα του 2007 έως τα τέλη του 2009 σε πινακοειδή μορφή.

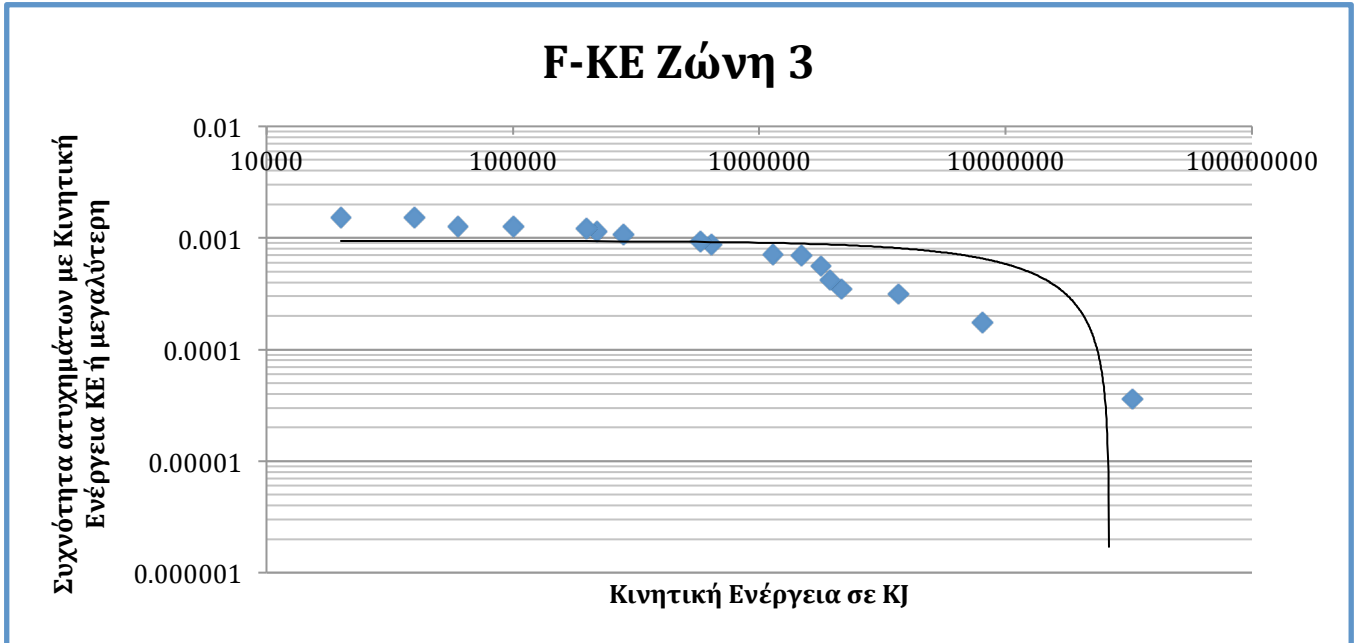
Με τη βοήθεια του mysql και συγκεκριμένων queries και βάζοντας τις συντεταγμένες της κάθε ζώνης βρήκαμε τον αριθμό των διερχομένων πλοίων στη κάθε ζώνη. Αξίζει να επισημανθεί ότι επειδή η ζώνη 2 και η ζώνη 3 τέμνονται, θα υπολογίζαμε τον αριθμό των πλοίων δύο φορές στην κοινή τους περιοχή από τα στενά Εύβοιας και Άνδρου έως τη Κέα.

Για την αποφυγή αυτού του σφάλματος καταφύγαμε στην παρακολούθηση των δρομολογίων των πλοίων στο AIS για μια εβδομάδα έτσι ώστε να δούμε πόσα πλοία αντιστοιχούν στη κάθε ζώνη. Ακολουθούν οι καμπύλες F-KE για τη κάθε ζώνη ξεχωριστά.

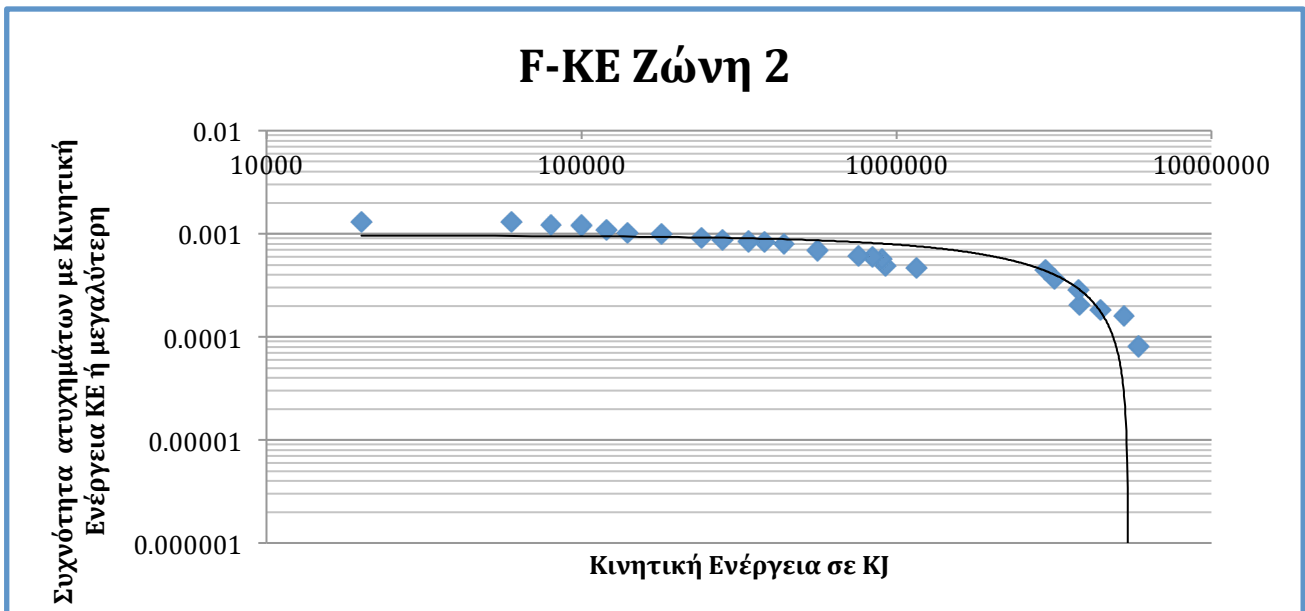


#### 4.2 Διαγράμματα F-KE

Ξέροντας τόσο τον αριθμό των διερχομένων πλοίων όσο και τον αριθμό των ατυχημάτων ναυσιπλοΐας καθώς και την μέγιστη δυνατή Κινητική Ενέργεια του κάθε εμπλεκόμενου σ' ατύχημα πλοίου προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα:



Σχήμα 73: Συχνότητα ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη–Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 3



Σχήμα 74: Συχνότητα ατυχημάτων με Κινητική Ενέργεια KE ή μεγαλύτερη–Κινητική Ενέργεια στη ζώνη 2

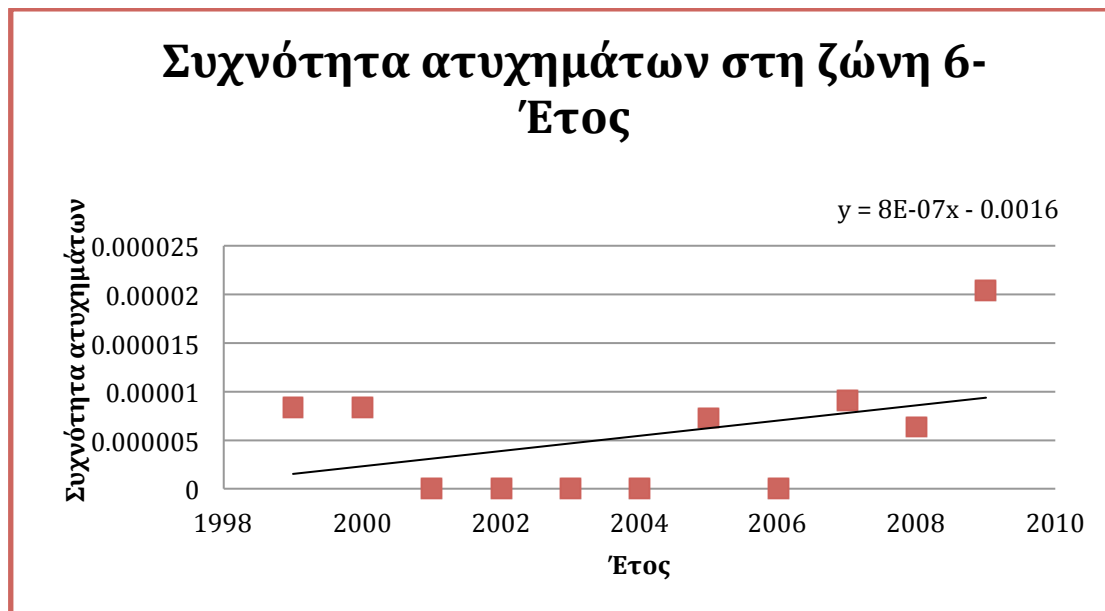




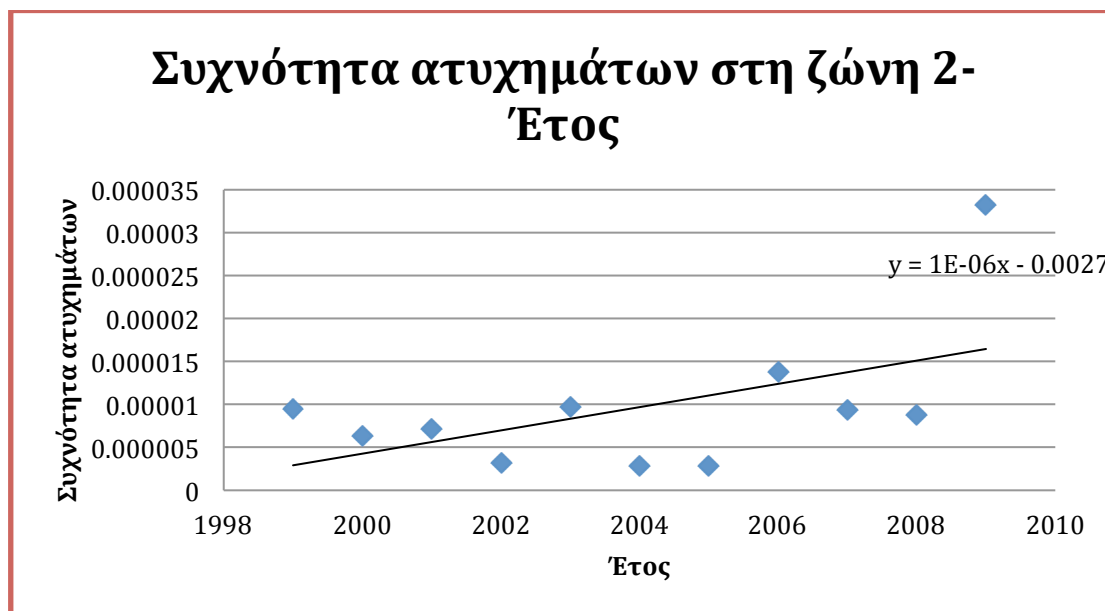


#### 4.3 Συχνότητες ατυχημάτων-Περίοδοι ατυχημάτων σε shipdays

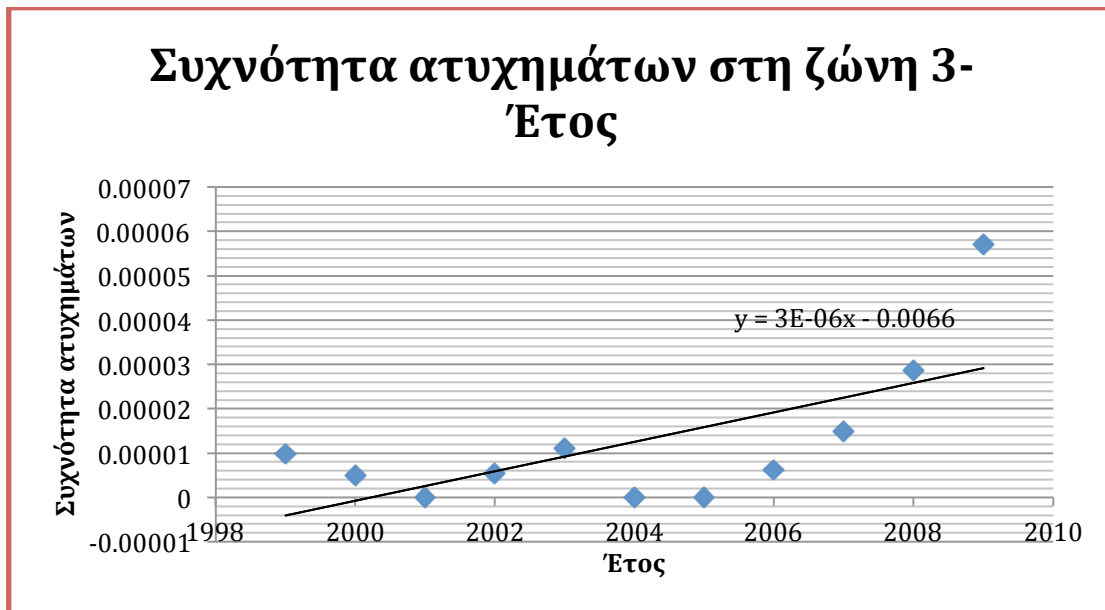
Ξέροντας τον αριθμό των διελεύσεων και τον αριθμό των ατυχημάτων ναυσιπλοΐας προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα ανά υπό μελέτη ζώνη:



Σχήμα 77: Συχνότητα ατυχημάτων-έτος για την ζώνη 6



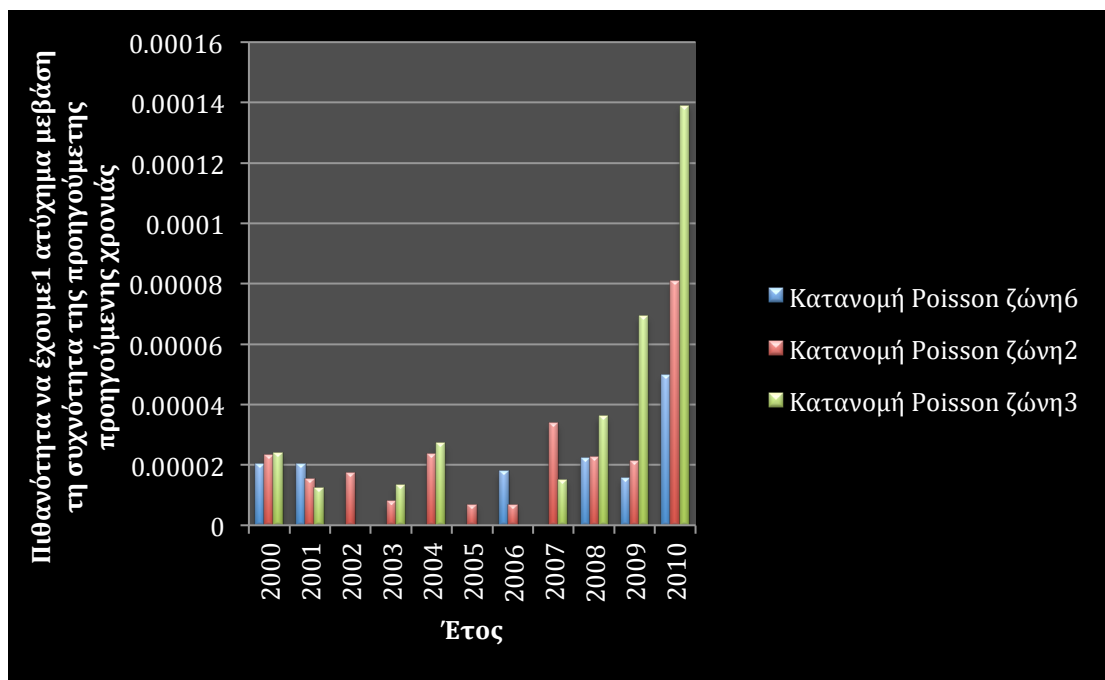
Σχήμα 78: Συχνότητα ατυχημάτων-έτος για την ζώνη 2



Σχήμα 79: Συχνότητα ατυχημάτων-έτος για την ζώνη 3

Συγκεντρωτικά για τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να πούμε ότι με την πάροδο του χρόνου συναντάμε μια αυξητική τάση στη συχνότητα των ατυχημάτων και στις τρεις ζώνες, κάτι το οποίο δικαιολογείται από την σημαντική αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων στις πορείες τα τελευταία χρόνια.

Εφαρμόζοντας τη στοχαστική διαδικασία Poisson της σχέσης (2) προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα:

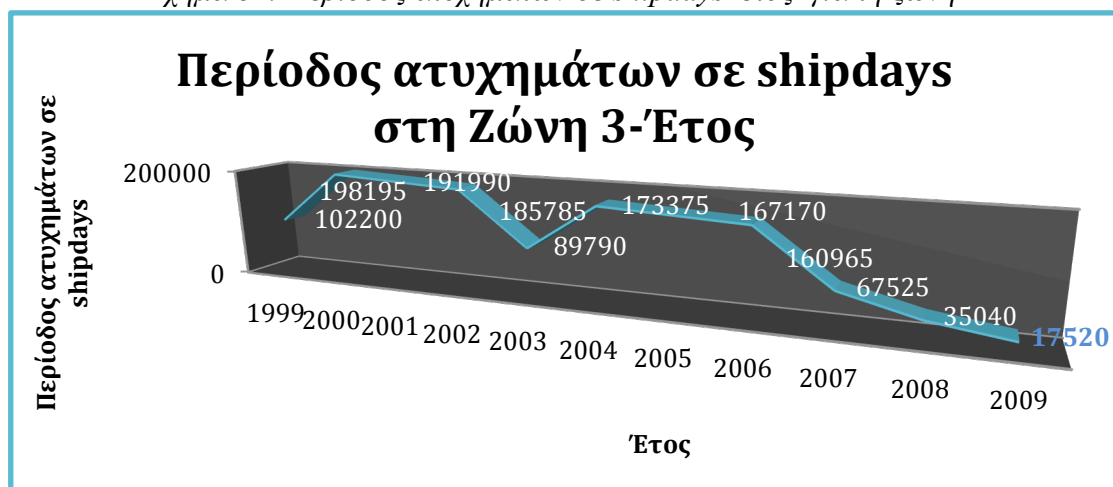
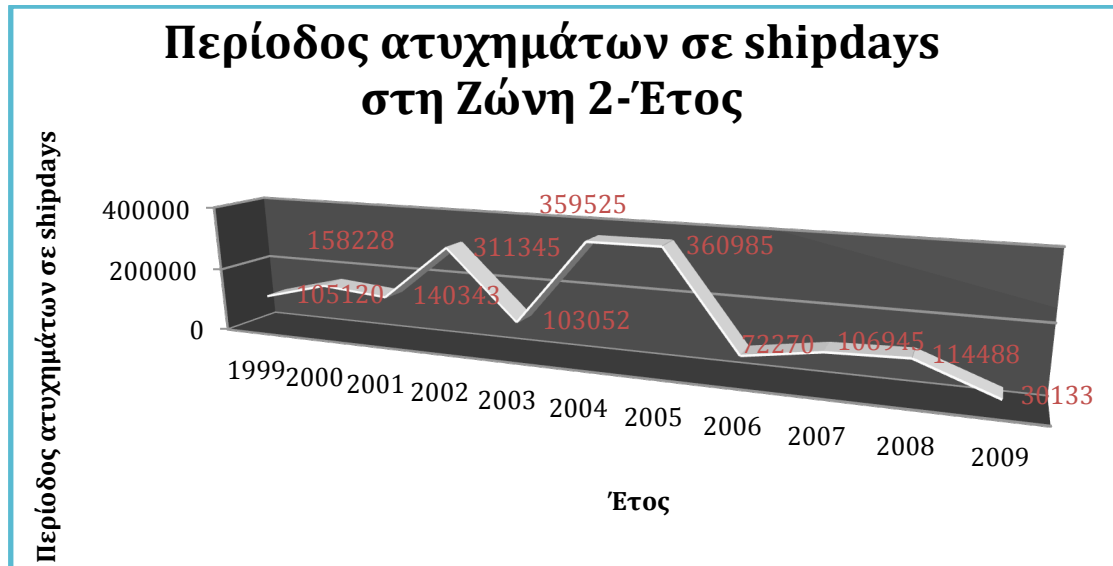
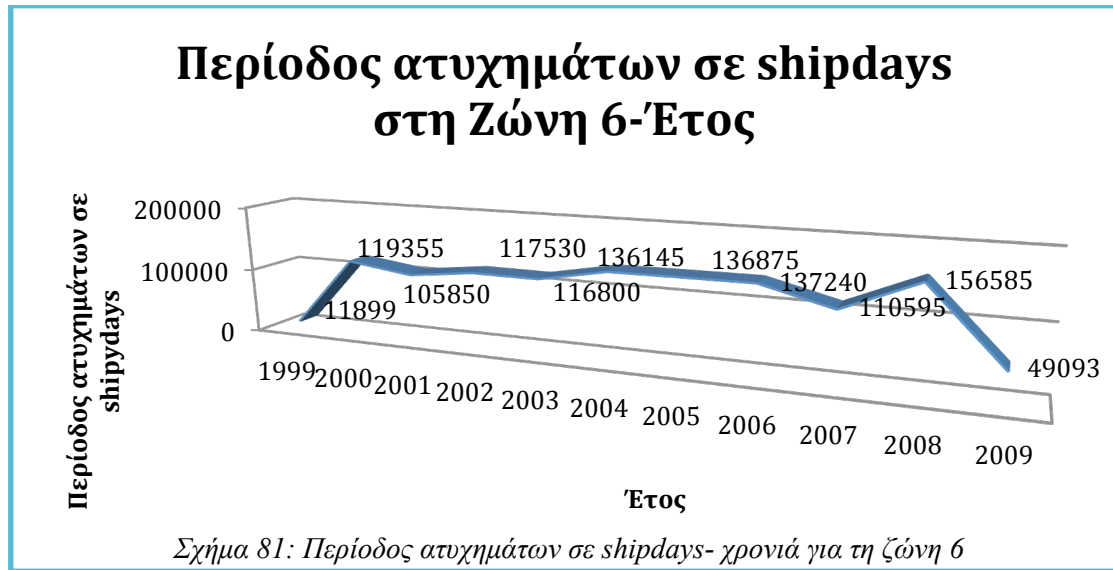


Σχήμα 80: Πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο με βάση τη συχνότητα ατυχημάτων της προηγούμενης χρονιάς-έτος για και για τις τρεις ζώνες



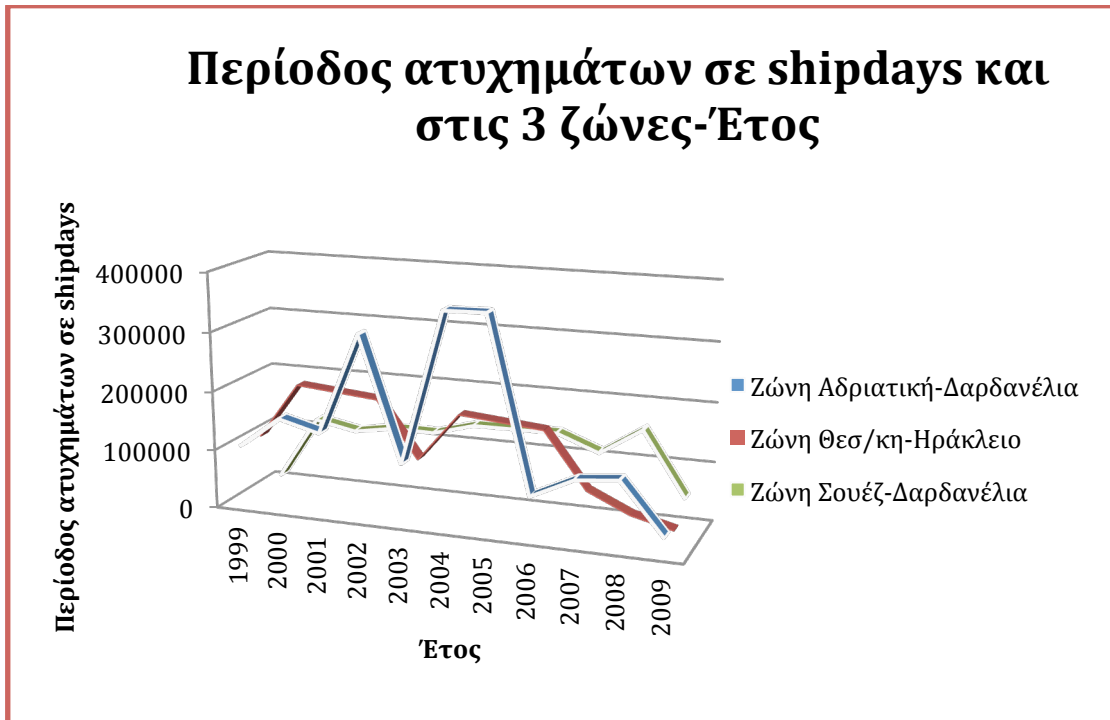


Αντιστρέφοντας τη συχνότητα των ατυχημάτων ναυσιπλοΐας βρίσκουμε την περίοδο των ατυχημάτων δηλαδή κάθε πόσα πλοία γίνεται το επόμενο ατύχημα, αναλυτικά:



Σχήμα 83α: Περίοδος ατυχημάτων σε shipdays- έτος για τη ζώνη 3





Σχήμα 83β: Περίοδος ατυχημάτων σε shipdays- έτος και για τις τρεις ζώνες

Συγκεντρωτικά για τα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε ότι μεγαλύτερη περίοδο ατυχημάτων έχουμε στη ζώνη 2 Δαρδανέλια-Αδριατική κάτι το οποίο είναι λογικό αφού συναντάμε στη ζώνη αυτή το μεγαλύτερο όγκο πλοίων. Επίσης, και στις τρεις ζώνες τα τελευταία έτη έχουμε μείωση της περιόδου ατυχημάτων κάτι το οποίο εξηγείται από την μεγάλη αύξηση των ατυχημάτων.

Στη δικιά μας περίπτωση η  $\lambda(t)$  έχει την παρακάτω μορφή στις τρεις ζώνες:

- Στη ζώνη 6  $\lambda(t) = 8 \cdot 10^{-7} \cdot t - 0.0016$
- Στη ζώνη 2  $\lambda(t) = 10^{-6} \cdot t - 0.0027$
- Στη ζώνη 3  $\lambda(t) = 3 \cdot 10^{-6} \cdot t - 0.0066$

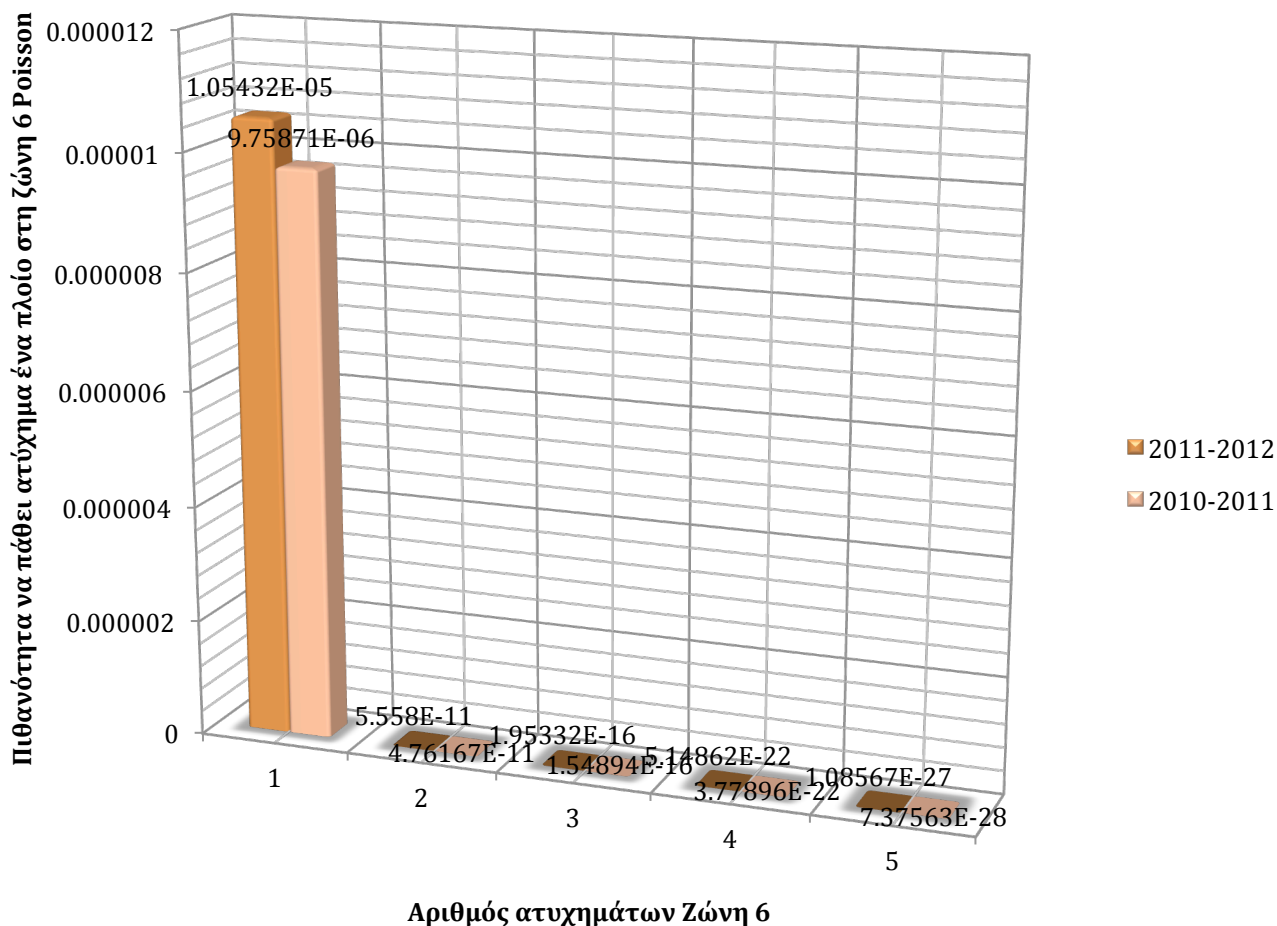
Στη συνέχεια ολοκληρώνουμε με όρια 0,1 γιατί θέλουμε να βρούμε την πιθανότητα για ένα χρόνο το 2010 και προκύπτει αντικαθιστώντας στην σχέση (2):

- Στη ζώνη 6 η πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο το 2010 είναι  $9,758715 \cdot 10^{-6}$
- Στη ζώνη 2 η πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο το 2010 είναι  $1,7135506 \cdot 10^{-5}$
- Στη ζώνη 3 η πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο το 2010 είναι  $3,0812851 \cdot 10^{-5}$



4.4 Παράθεση των πιθανοτήτων να πάθει ατύχημα ένα πλοίο

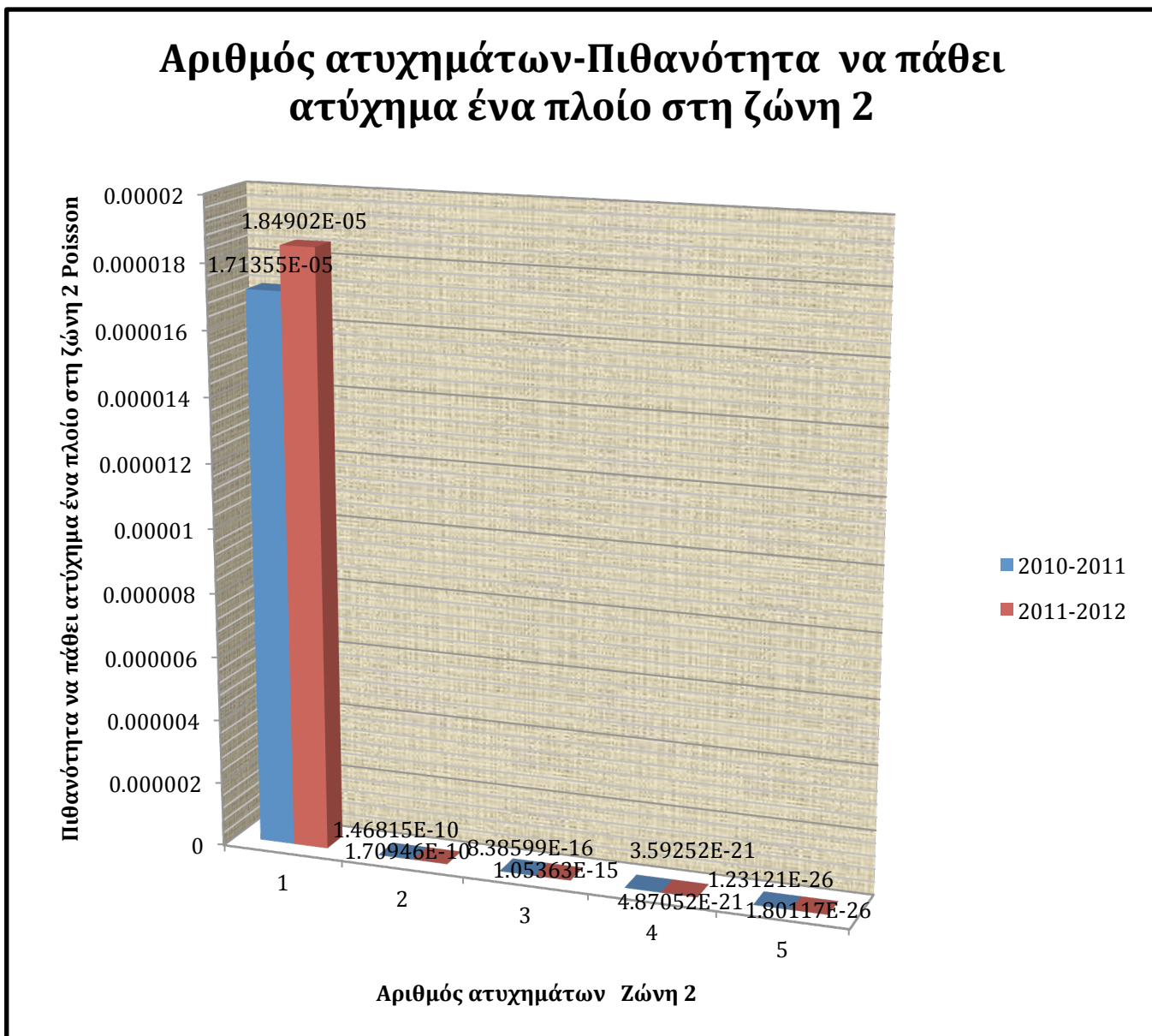
### Αριθμός ατυχημάτων-Πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο στη ζώνη 6



Σχήμα 84: Πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο στη ζώνη 6- αριθμός ατυχημάτων για τη ζώνη 6

Από το παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνουμε ότι η πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο το 2011-2012 είναι μεγαλύτερη από το 2010-2011 καθώς και ότι μειώνεται κατακόρυφα η πιθανότητα να πάθει ένα πλοίο παραπάνω από ένα ατύχημα. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η πιθανότητα να πάθει ένα πλοίο ατύχημα σε μια ημέρα είναι ίδια με την πιθανότητα να πάθει ατύχημα σ' ένα χρόνο.



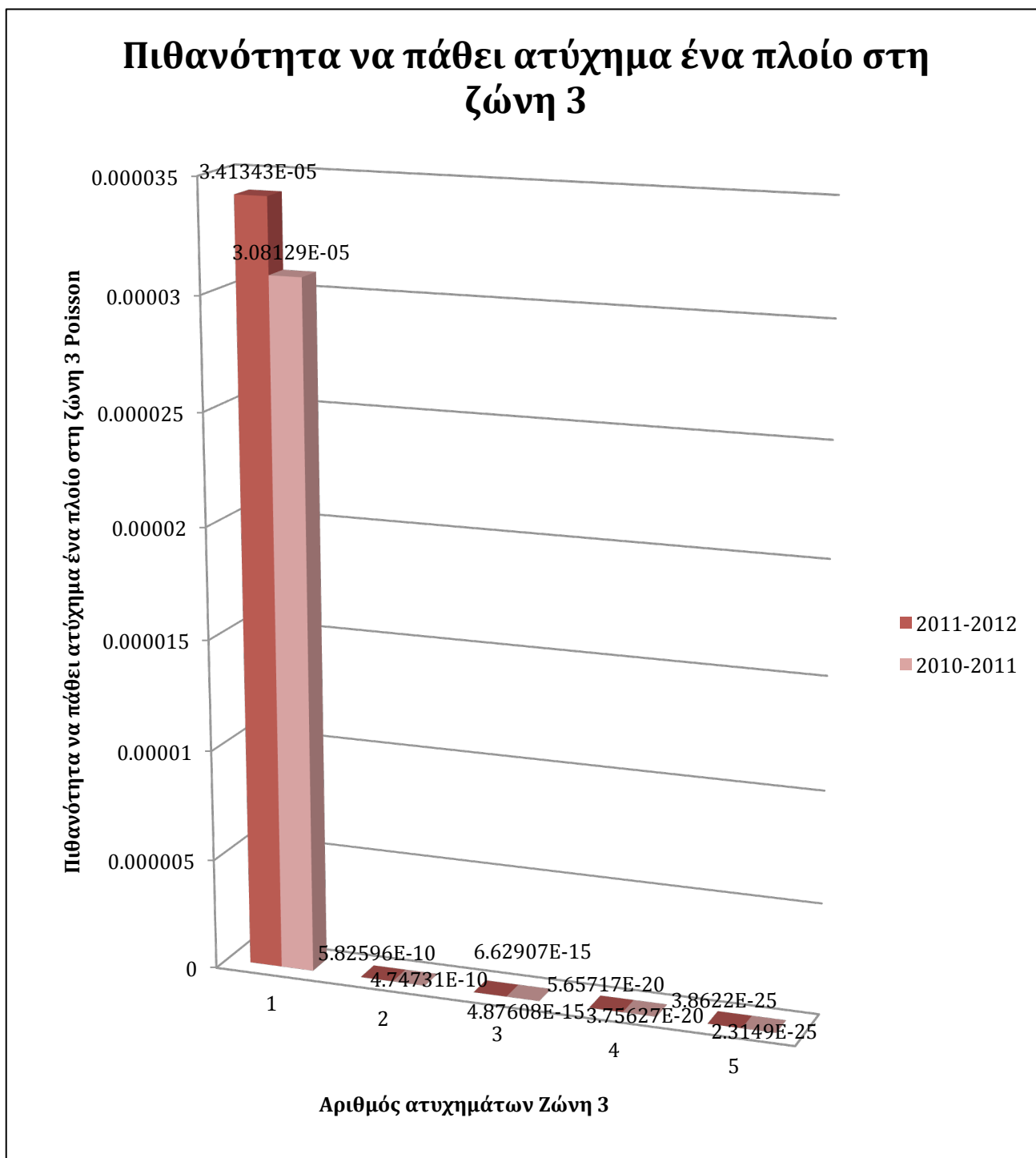


Σχήμα 85: Πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο στη ζώνη 2- αριθμός ατυχημάτων για τη ζώνη 2

Από το παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνουμε ότι η πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο το 2011-2012 είναι μεγαλύτερη από το 2010-2011 καθώς και ότι μειώνεται κατακόρυφα η πιθανότητα να πάθει ένα πλοίο παραπάνω από ένα ατύχημα.







Σχήμα 86: Πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο στη ζώνη 3- αριθμός ατυχημάτων για τη ζώνη 3

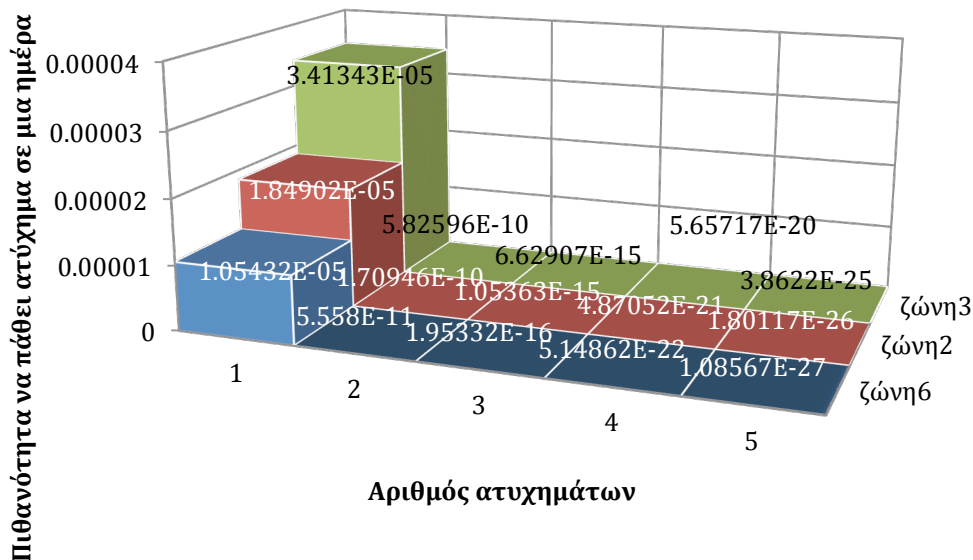
Από το παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνουμε ότι η πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο το 2011-2012 είναι μεγαλύτερη από το 2010-2011 καθώς και ότι μειώνεται κατακόρυφα η πιθανότητα να πάθει ένα πλοίο παραπάνω από ένα ατύχημα.

Από το παρακάτω σχήμα βλέπουμε ότι μεγαλύτερη πιθανότητα να πάθει ατύχημα συναντάμε στη Ζώνη 3 και ακολουθεί η Ζώνη 2.





## Πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο το 2011



Σχήμα 87: Συγκεντρωτικά Πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο στις 3 ζώνες - αριθμός ατυχημάτων για τις 3 ζώνες

Πιθανότητα να γίνει ένα ατύχημα σε μια ημέρα στη Ζώνη 6	Πιθανότητα να γίνει ένα ατύχημα σε μια ημέρα στη Ζώνη 2	Πιθανότητα να γίνει ένα ατύχημα σε μια ημέρα στη Ζώνη 3
0.002995925	0.012303294	0.005238185
Πιθανότητα να πάθει ατύχημα σε μια ημέρα στη Ζώνη 6 ένα πλοίο	Πιθανότητα να πάθει ατύχημα σε μια ημέρα στη Ζώνη 2 ένα πλοίο	Πιθανότητα να πάθει ατύχημα σε μια ημέρα στη Ζώνη 3 ένα πλοίο
9.75871E-06	1.71355E-05	3.08129E-05
Πιθανότητα να γίνει ένα ατύχημα σ' ένα χρόνο στη Ζώνη 6	Πιθανότητα να γίνει ένα ατύχημα σ' ένα χρόνο στη Ζώνη 2	Πιθανότητα να γίνει ένα ατύχημα σ' ένα χρόνο στη Ζώνη 3
0.449388815	1	0.785727688
Πιθανότητα να πάθει ατύχημα σε ένα χρόνο στη Ζώνη 6 ένα πλοίο	Πιθανότητα να πάθει ατύχημα σε ένα χρόνο στη Ζώνη 2 ένα πλοίο	Πιθανότητα να πάθει ατύχημα σε ένα χρόνο στη Ζώνη 3 ένα πλοίο
9.75871E-06	1.71355E-05	3.08129E-05

ΠΙΝΑΚΑΣ 15: Παράθεση πιθανοτήτων να πάθει ατύχημα ένα πλοίο και να γίνει ατύχημα στη ζώνη με τη στοχαστική διαδικασία Poisson





## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΕΚΦΡΑΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΖΩΝΕΣ**



## ΕΚΦΡΑΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ

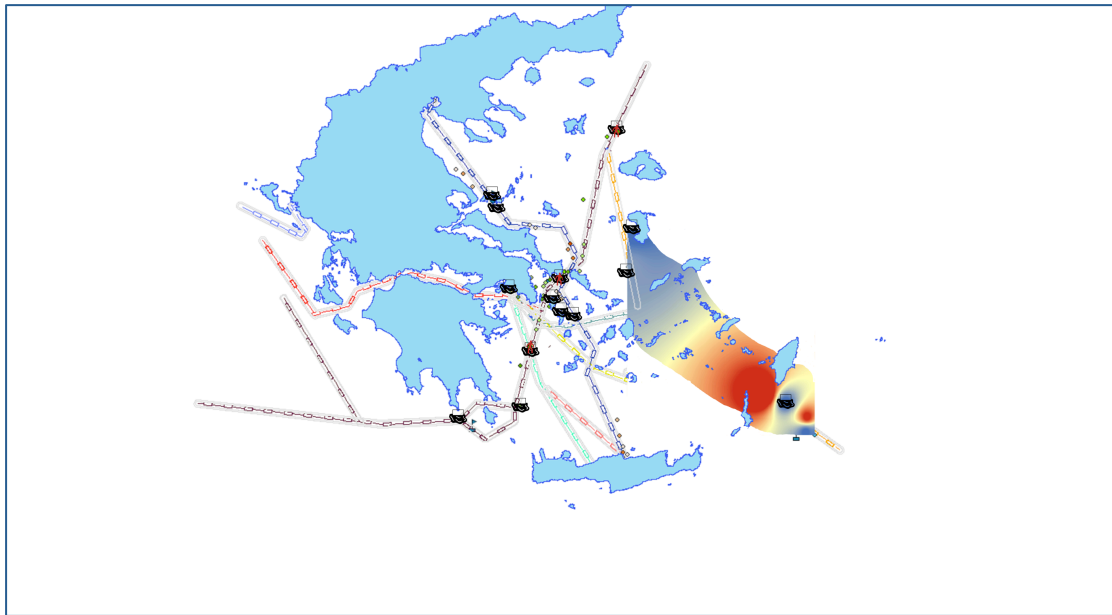
### 5.1 Έκφραση της επικινδυνότητας

Καταφύγαμε για την απεικόνιση της επικινδυνότητας στο γινόμενο  $p \cdot KE$  όπου  $p$  είναι η πιθανότητα Poisson να πάθει ατύχημα ένα πλοίο που υπολογίστηκε προηγουμένως, και  $KE$  είναι η κινητική ενέργεια του κάθε πλοίου λίγο πριν εμπλακεί σε ατύχημα ναυσιπλοΐας. Προσπαθήσαμε να εκφράσουμε έτσι την επικινδυνότητα καθώς θέλαμε να αποφύγουμε την οικονομική αποτίμηση των ατυχημάτων καθώς η ανθρώπινη ζωή δύσκολα κοστολογείται.

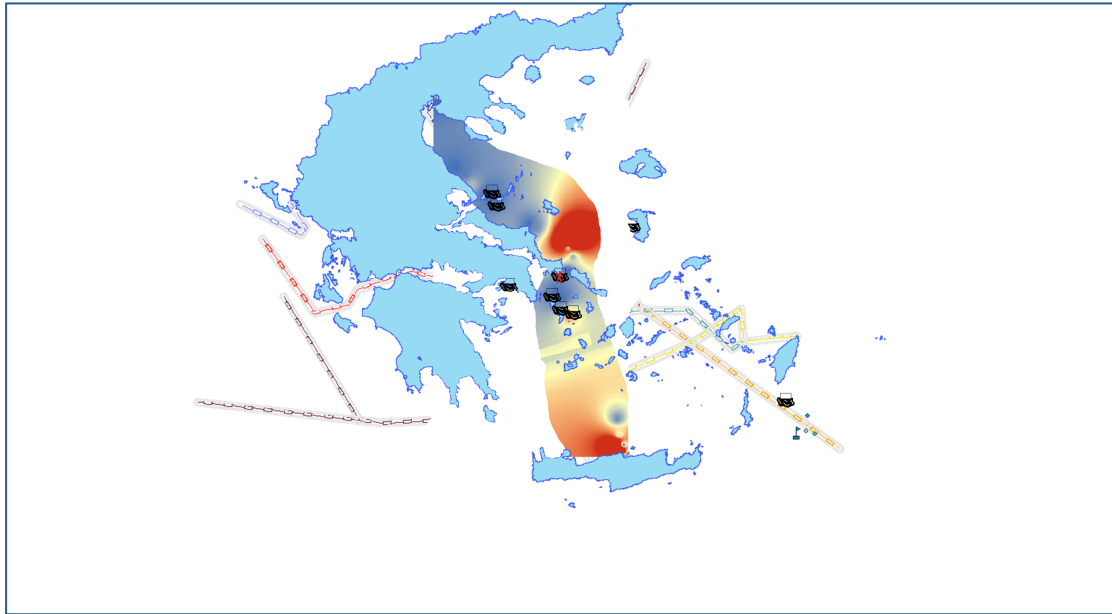
Επίσης θεωρήσαμε ότι η Κινητική Ενέργεια όπως αναφέραμε και στο Κεφάλαιο 1 είναι ένα γενικό μέτρο των υλικών ζημιών των εμπλεκόμενων σ' ατυχήματα πλοίων. Συνεπώς το παραπάνω γινόμενο μπορεί να αποτελέσει ένα γενικό μέτρο της εν δυνάμει επικινδυνότητας ύπαρξης ατυχημάτων.

### 5.2 Απεικόνιση της επικινδυνότητας

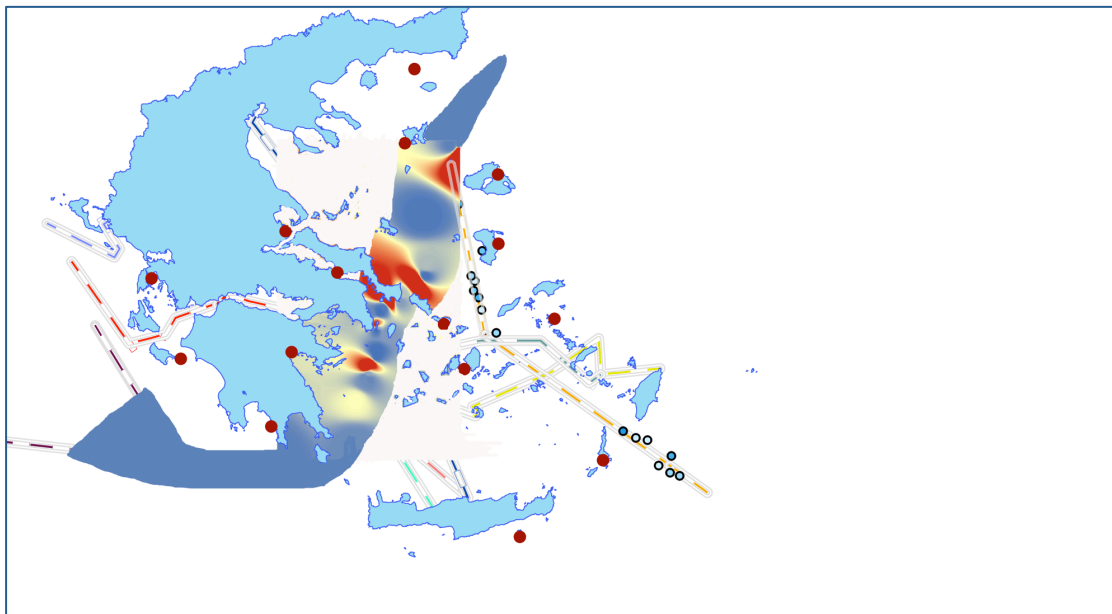
Η εφαρμογή της παραπάνω θεωρίας αποτυπώνεται στους παρακάτω χάρτες:



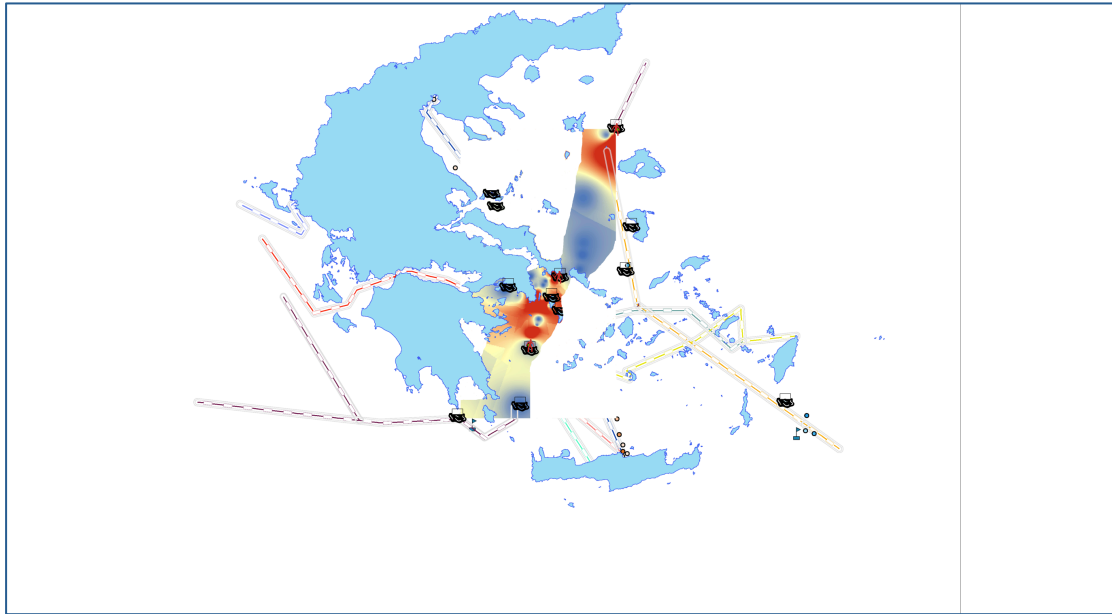
Σχήμα 88: Απεικόνιση της επικινδυνότητας στη ζώνη 6 ως  $f \cdot KE$



Σχήμα 89: Απεικόνιση της επικινδυνότητας στη ζώνη 3 ως  $f^*KE$

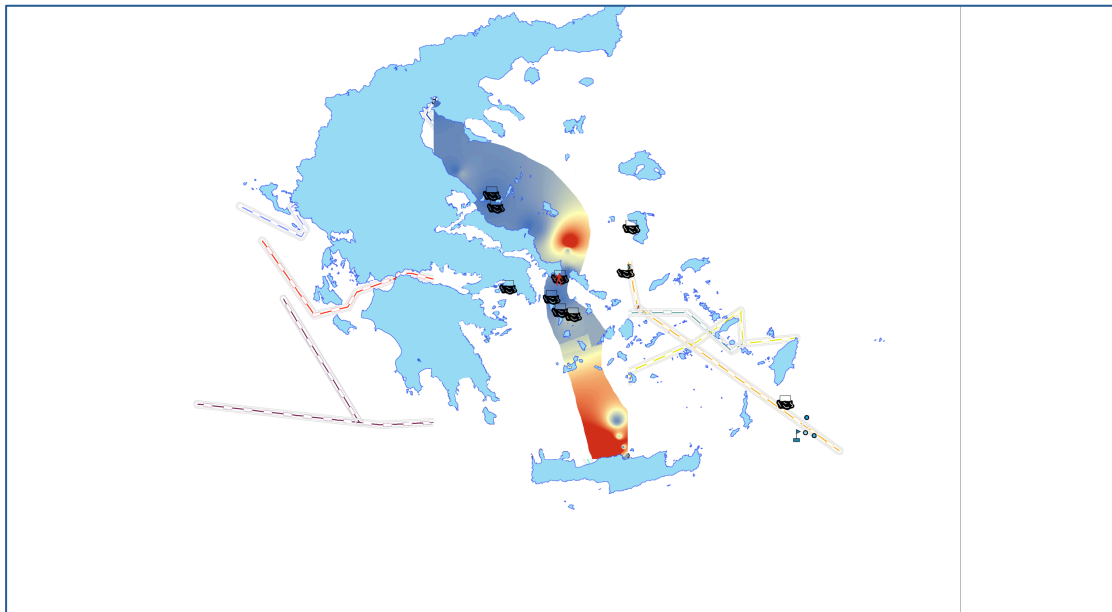


Σχήμα 90: Απεικόνιση της επικινδυνότητας στη ζώνη 2 ως  $f^*KE$



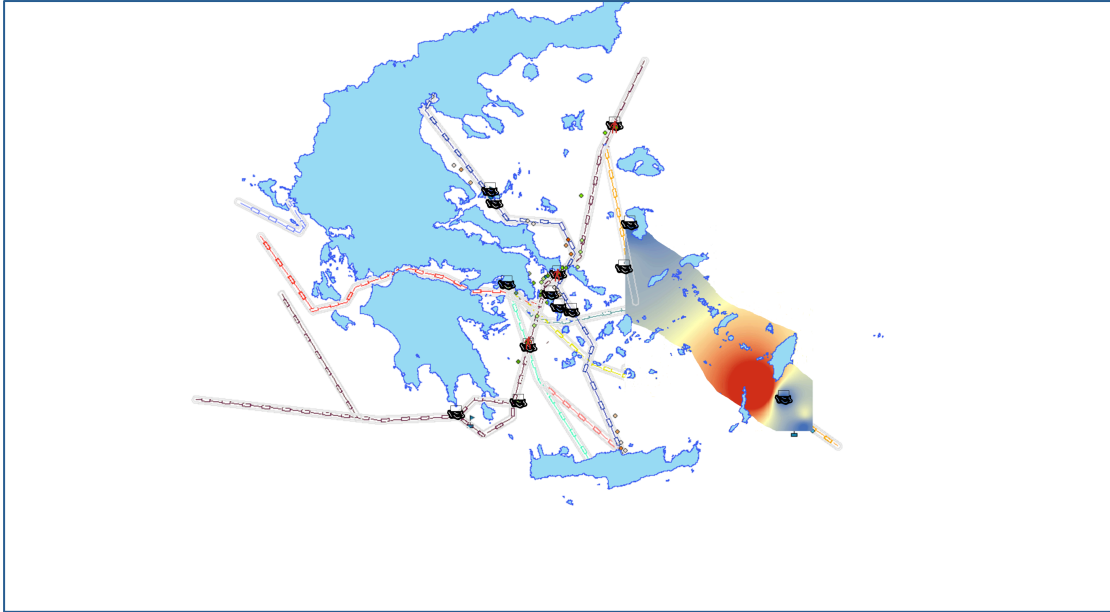
Σχήμα 91: Απεικόνιση της επικινδυνότητας στη ζώνη 2 ως  $p^*KE$

Από τα σχήματα 91-94 διαπιστώνουμε ότι σημεία με μεγάλη επικινδυνότητα είναι τα σημεία συνάντησης των ζωνών Δαρδανέλια-Αδριατική και Θεσ/κη-Ηράκλειο και των ζωνών Δαρδανέλια-Αδριατική και Σουέζ-Δαρδανέλια. Επίσης, βλέπουμε ότι εκεί που έχουμε υψηλής έντασης ανέμους όπως στο Κάβο Ντόρο και στο Καρπάθιο είναι υψηλής επικινδυνότητας περιοχές.

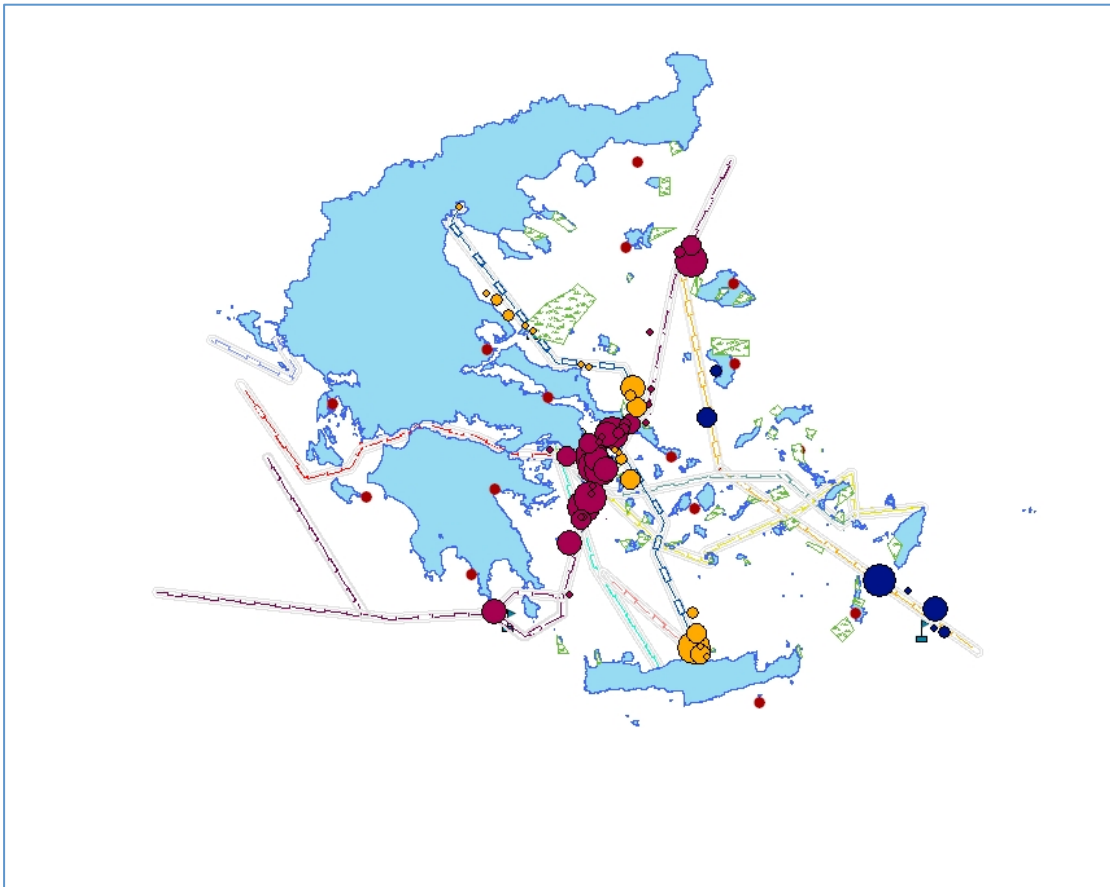


Σχήμα 92: Απεικόνιση της επικινδυνότητας στη ζώνη 3 ως  $p^*KE$





Σχήμα 93: Απεικόνιση της επικινδυνότητας στη ζώνη 6 ως  $p^*KE$



Σχήμα 94: Απεικόνιση της επικινδυνότητας στις τρεις ζώνες ως  $p^*KE$



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**

### **ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ/ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΩΝ ΡΥΠΑΝΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΘΑΝΑΤΗΦΟΡΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΕΣ**

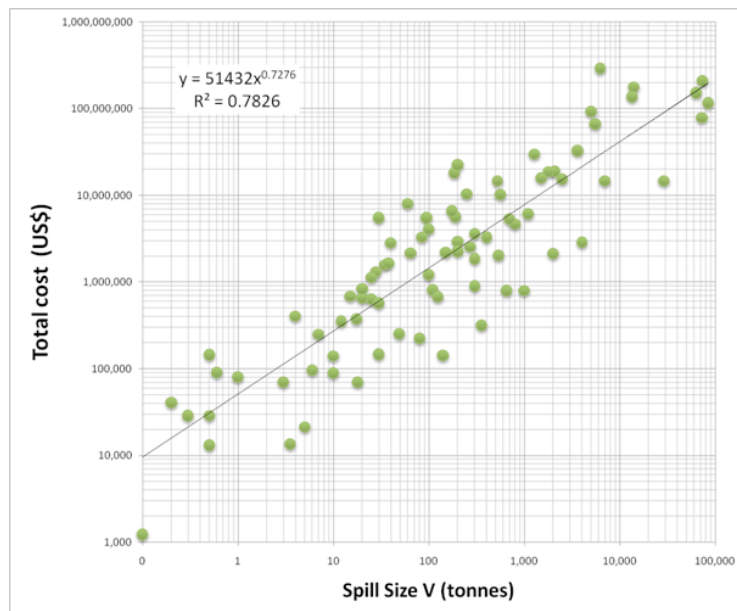




## ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ/ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΩΝ ΡΥΠΑΝΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΘΑΝΑΤΗΦΟΡΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

### 6.1 Εισαγωγή

Για να έχουμε αίσθηση των ρυπάνσεων και των απωλειών ανθρώπινης ζωής, μετατρέψαμε τους τόννους των πετρελαιοκηλίδων και τις ανθρώπινες απώλειες σε οικονομικό κόστος σε Ευρώ. Συγκεκριμένα, το κόστος της ανθρώπινης ζωής είναι ίσο με 3000000 US\$. Και ο τόννος πετρελαίου που διαρρέει στη θάλασσα θεωρήσαμε ότι προκύπτει από τη σχέση που φαίνεται στο σχήμα παρακάτω (Kontovas, C.A., Psaraftis, H.N., Ventikos N. “An Empirical Analysis of IOPCF Oil Spill Cost Data”, Marine Pollution Bulletin, Volume 60, Issue 9, September 2010, Pages 1455-1466):



Σχήμα 95: An Empirical Analysis of IOPCF Oil Spill Cost Data

### 6.2 Η βάση της επιλογής του E(C) και του E(C)/E(V)

Στη συνέχεια ελέγξαμε το αν πρέπει να πάρουμε το E(C) ή το E(V) για την εκτίμηση του τελικού κόστους. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι το E(C) προέρχεται από τη μετατροπή των καταγεγραμμένων τόννων των ρυπάνσεων σε κόστος σε Ευρώ με βάση το σχήμα 95, και αφού έχουμε το κόστος το πολλαπλασιάζουμε με την πιθανότητα να πάθουν ατύχημα τα εμπλεκόμενα πλοία (Poisson).

Το E(V) προέρχεται από την παρακάτω διαδικασία: αρχικά τους καταγεγραμμένους τόννους των ρυπάνσεων τους πολλαπλασιάζουμε με την πιθανότητα να πάθουν ατύχημα ένα από τα εμπλεκόμενα πλοία και στη συνέχεια βρίσκουμε το κόστος σε Ευρώ με βάση το σχήμα 95. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το E(V) υπερεκτιμά κατά πολύ το τελικό κόστος σε σχέση με το E(C).





Παρατίθενται τα αποτελέσματα, (οι τιμές που ταυτίζονται τα δύο κόστη είναι οι τιμές του κόστους για τα θανατηφόρα ατυχήματα ≈ 94):

Με E(C) Τελικό Κόστος*ρ	Με E(V) Τελικό Κόστος*ρ
0.42655475070	8
25.96652607110	336
28.77714616400	511
1.43798746185	22
29.61192299850	452
1.76327949292	23
16.88627003700	300
72.72300255710	940
94.40590000000	94
22.59653236570	292
23.70111288300	362
45.15283287000	690
94.40590000000	94
94.40590000000	94



ΠΙΝΑΚΑΣ 16: Σύγκριση E(C) και E(V)





Στη συνέχεια, προσπαθήσαμε να εξετάσουμε τι πρέπει να χρησιμοποιήσουμε το  $E(C)/E(V)$  ή το  $E(C/V)$ .

Ισχύει ότι:

$$E(C/V) = E(C)E(1/V) + \text{Cov}(C, 1/V)$$

$$\text{Cov}(C, 1/V) = \frac{\sum_{i=1}^{14} (c_i - \bar{c}) \cdot (\frac{1}{v_i} - \bar{\frac{1}{v}})}{14} = -267975$$

Κάνοντας τις πράξεις προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες στους οποίους βλέπουμε ότι υπερεκτιμάται το  $E(C/V)$  θεωρώντας ότι ο συντελεστής συνδιακύμανσης είναι μηδέν. Η μαθηματική απόδειξη θεωρώντας  $\text{Cov}(C, 1/V) = 0$  είναι η εξής:

$$\text{Αρκεί να αποδείξουμε ότι } E(C)/E(V) \leq E(1/V) * E(C) \rightarrow 1 \leq E(V) * E(1/V).$$

Ισχύει από τη Cauchy-Schwarz ανισότητα  $|E[XY]| \leq \{E(X^2) \cdot E(Y^2)\}^{1/2} \rightarrow$  αντικαθιστώντας όπου X το V και όπου Y το 1/V προκύπτει:

$$|E[1]| \leq \{E(V^2) \cdot E((1/V)^2)\}^{1/2} \rightarrow (\text{έχοντας κάνει την παραδοχή ότι είναι ασυσχέτιστες οι δύο τυχαίες μεταβλητές ισχύει: } E[XY] = E[X] \cdot E[Y]) \text{ δηλαδή:}$$

$$1 \leq \{E(V) \cdot E(V) \cdot E(1/V) \cdot E(1/V)\}^{1/2} \rightarrow$$

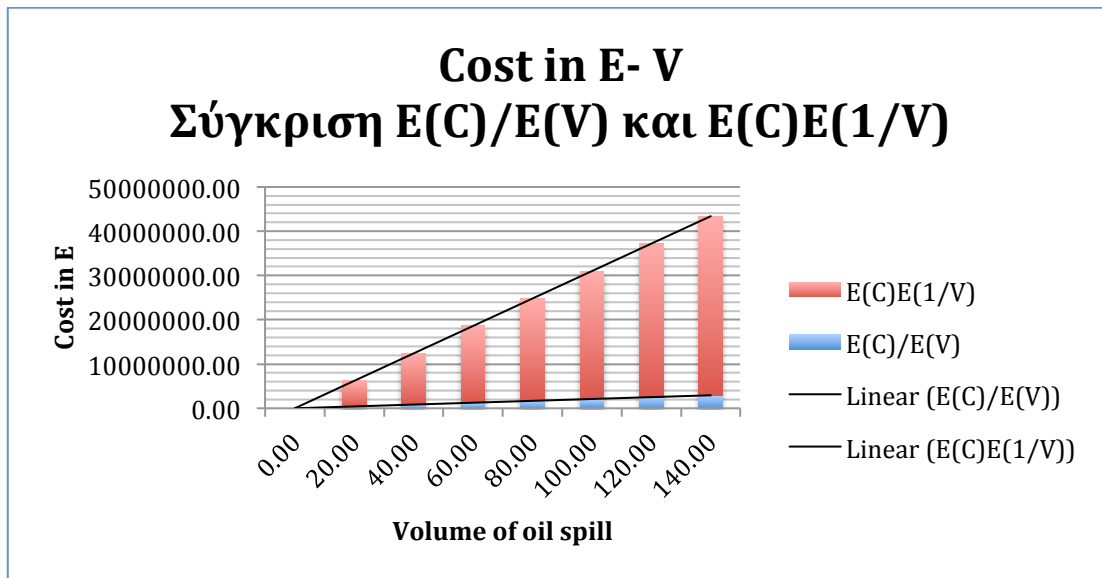
$$E(V) * E(1/V) \geq 1 \quad \text{o.e.δ.}$$

Οπότε καταλήξαμε στο ότι πιο σωστό είναι να πάρουμε το  $E(C)$  και  $E(C)/E(V)$  λόγω του γεγονότος ότι δεν υπερεκτιμούν:

$E(C) * E(1/V)$	$E(C)/E(V)$
1985418	48253
998076	16003
644339	9971
1471768	37594
776589	12114
1853228	43803
753228	12174
685418	10883
1097570	16857
867090	13167
656700	10344

ΠΙΝΑΚΑΣ 17: Σύγκριση  $E(C)/E(V)$  και  $E(C)E(1/V)$

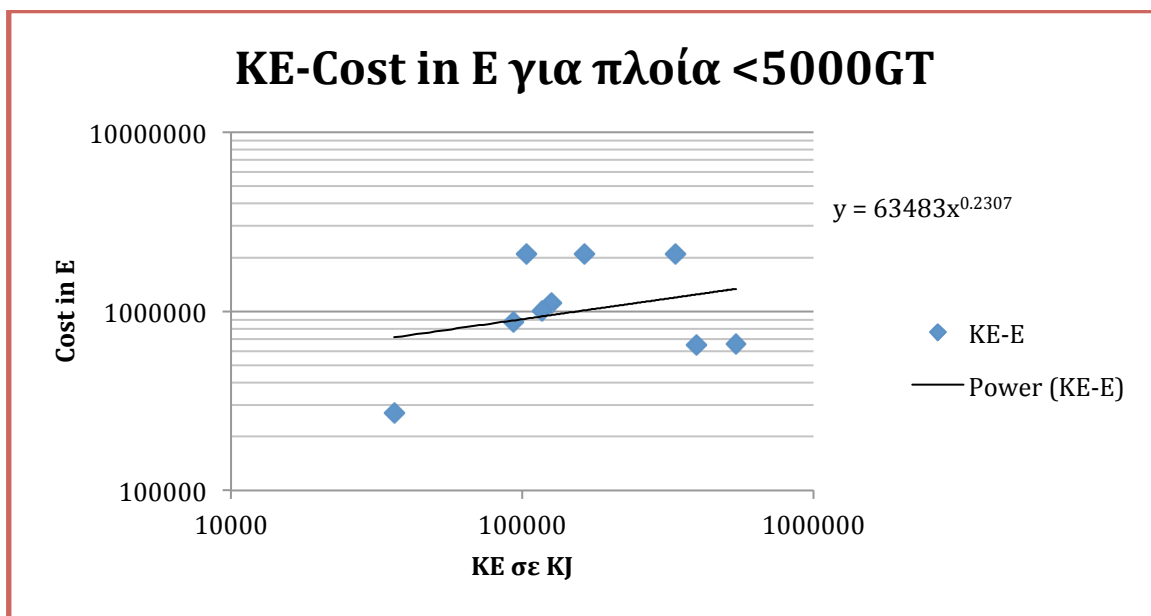




Σχήμα 96: Σύγκριση  $E(C)/E(V)$  και  $E(C)E(1/V)$

### 6.3 Διαγράμματα Κόστους σε Ευρώ και Κινητικής Ενέργειας

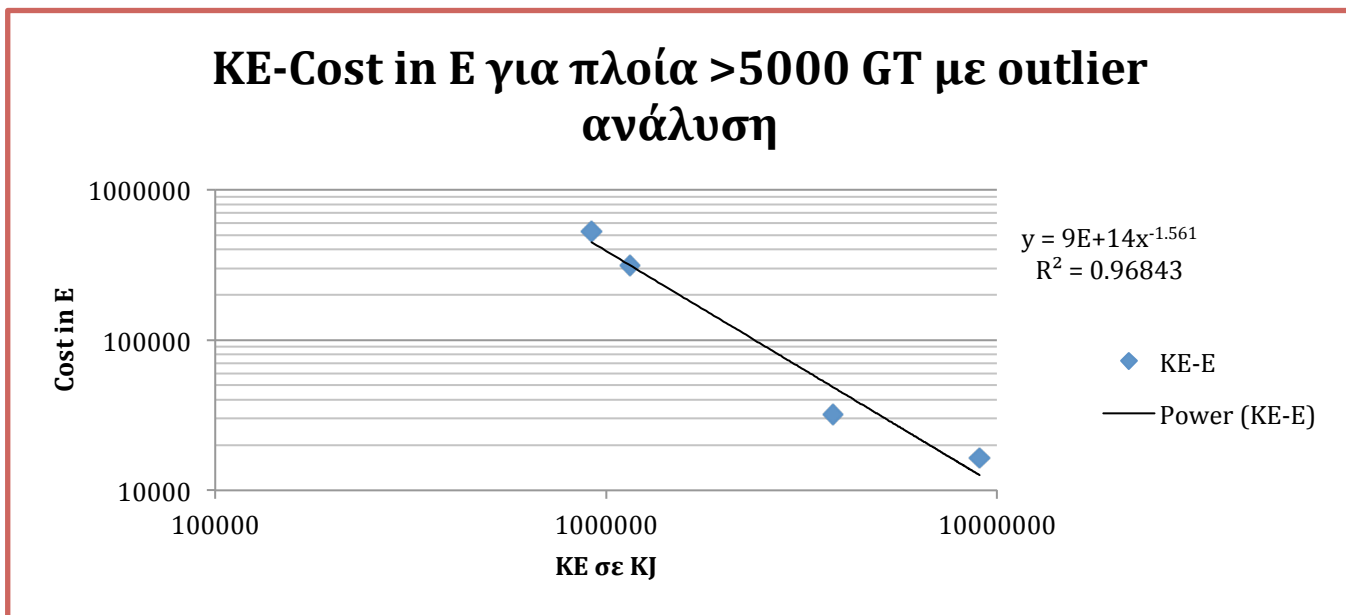
Στα παρακάτω διαγράμματα θα προσπαθήσουμε να εκφράσουμε το κόστος σε Ευρώ των ρυπάνσεων και των θανατηφόρων ατυχημάτων στο Αιγαίο το διάστημα 2000-2007, σε σχέση με την ΚΕ για να δούμε πως μεταβάλλεται με την αύξησή της για τις επιμέρους κατηγορίες πλοίων και ατυχημάτων ναυσιπλοΐας.



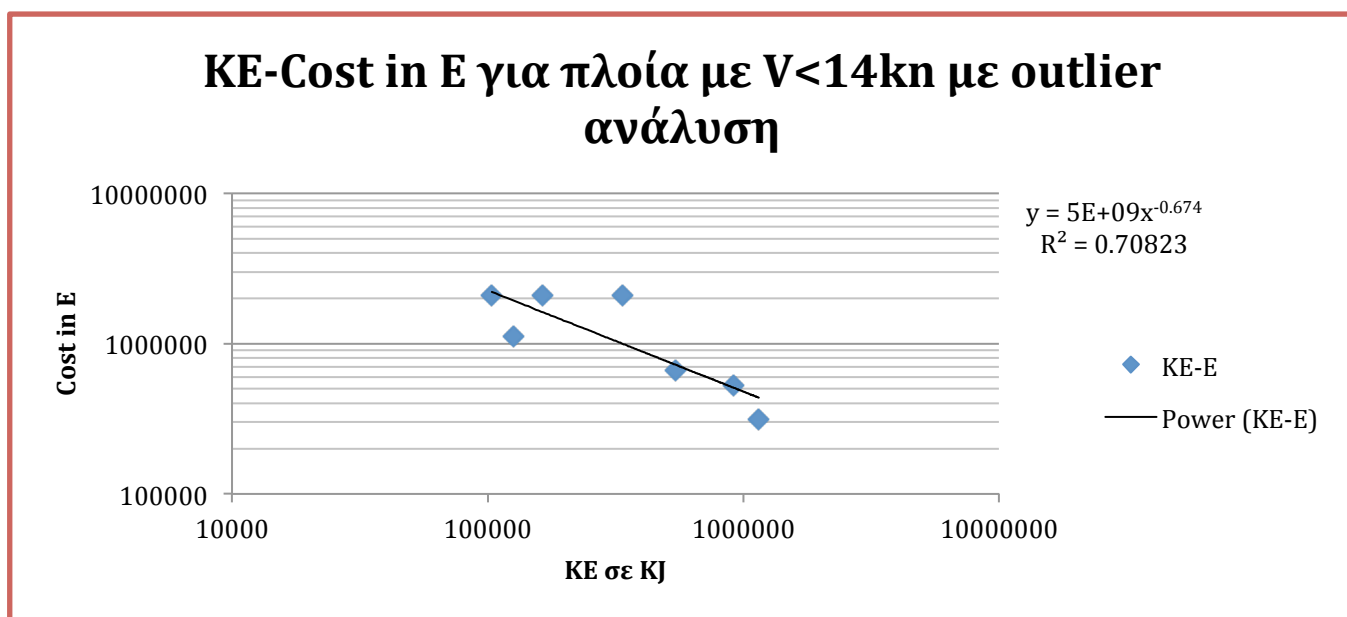
Σχήμα 97: Μεταβολή του κόστους των ατυχημάτων σε Ευρώ σε σχέση με την ΚΕ των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα για πλοία <5000 ΚΟΧ







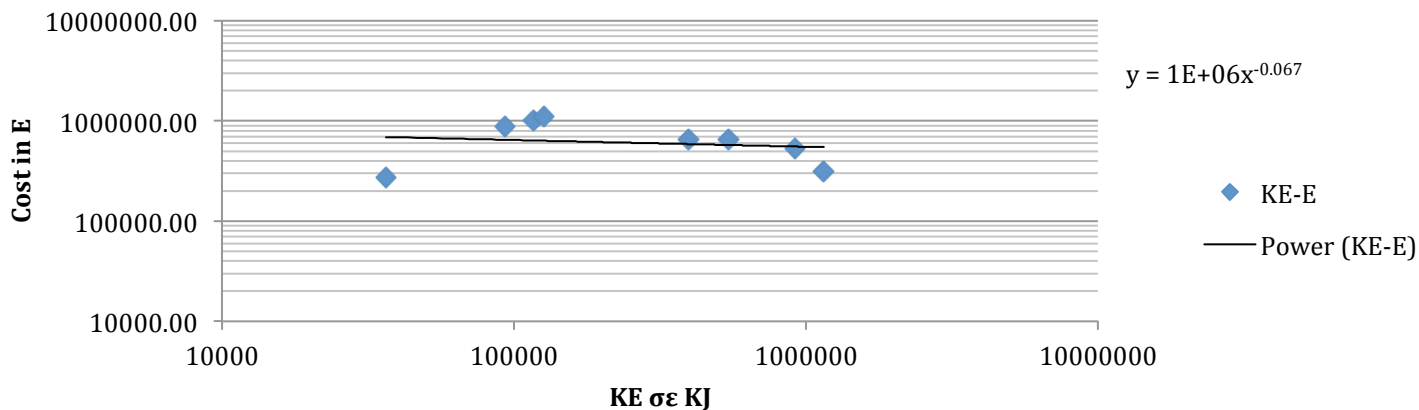
Σχήμα 98: Μεταβολή του κόστους των ατυχημάτων σε Ευρώ σε σχέση με την ΚΕ των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα για πλοία >5000 ΚΟΧ



Σχήμα 99: Μεταβολή του κόστους των ατυχημάτων σε Ευρώ σε σχέση με την ΚΕ των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα για πλοία με ταχύτητα <14 kn

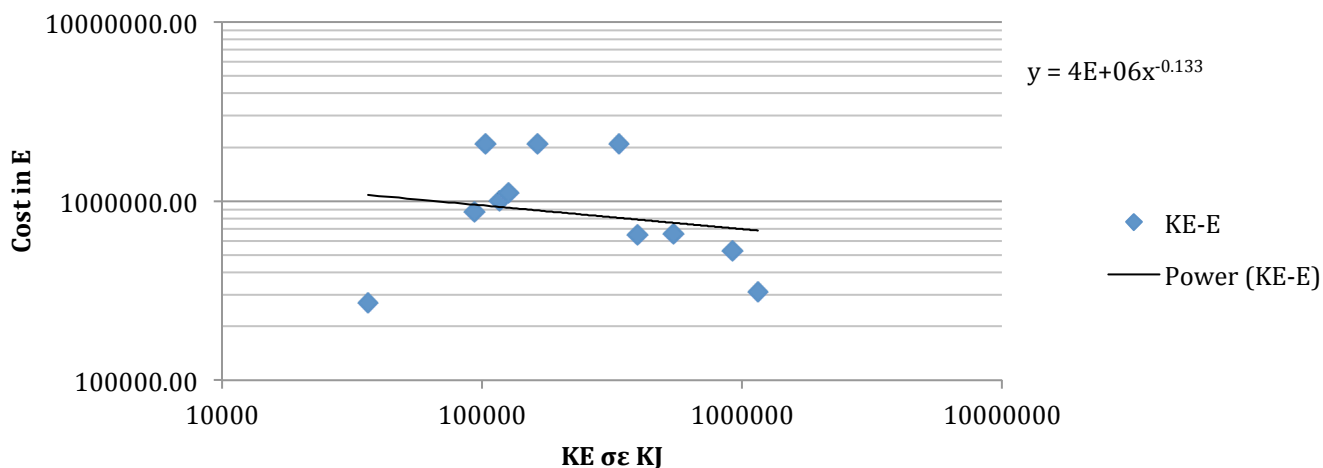


### ΚΕ-Cost in E για όλα τα πλοία μόνο για ρύπανση με outlier ανάλυση

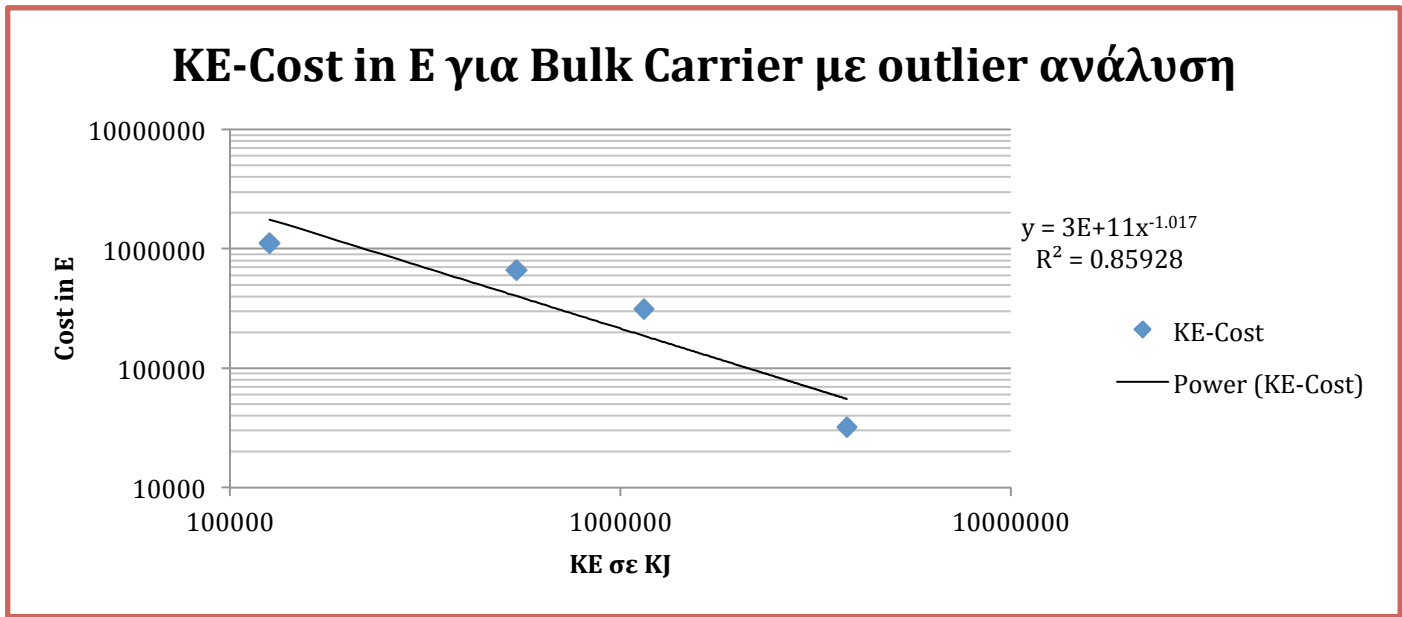


Σχήμα 100: Μεταβολή του κόστους των ατυχημάτων σε Ευρώ σε σχέση με την ΚΕ των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα με ρύπανση για όλα τα πλοία

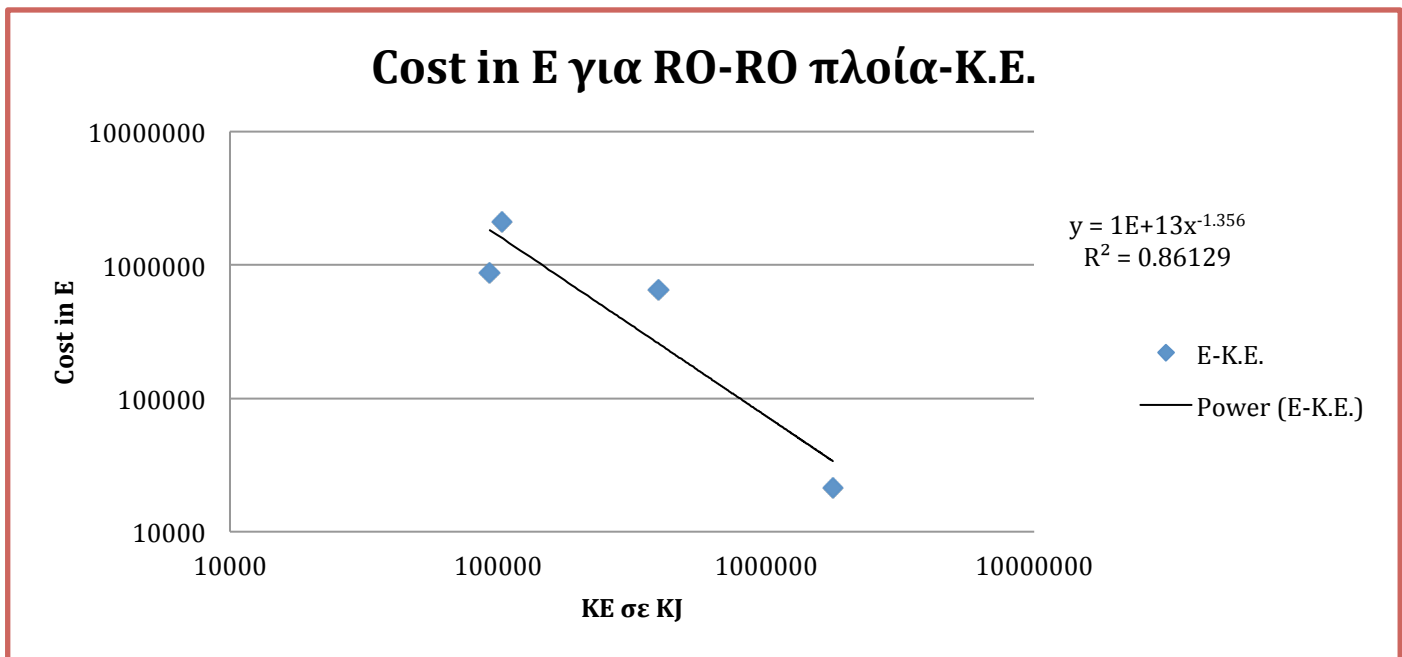
### ΚΕ-Cost in E για όλα τα πλοία με outlier ανάλυση



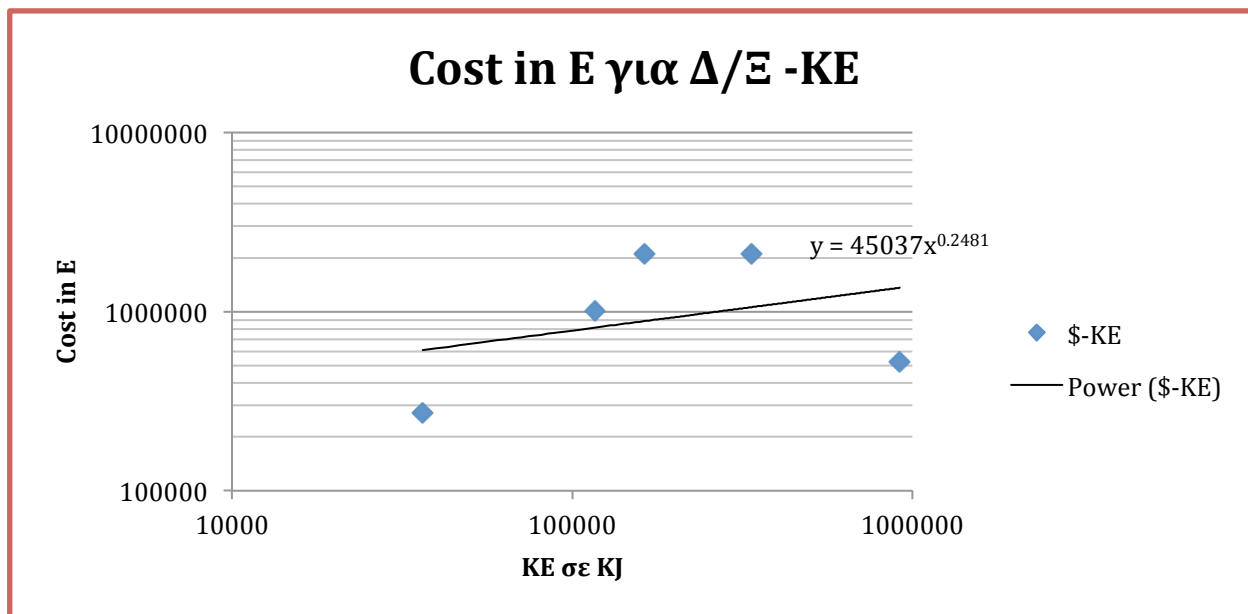
Σχήμα 101: Μεταβολή του κόστους των ατυχημάτων σε Ευρώ σε σχέση με την ΚΕ των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα με ρύπανση και νεκρούς για όλα τα πλοία



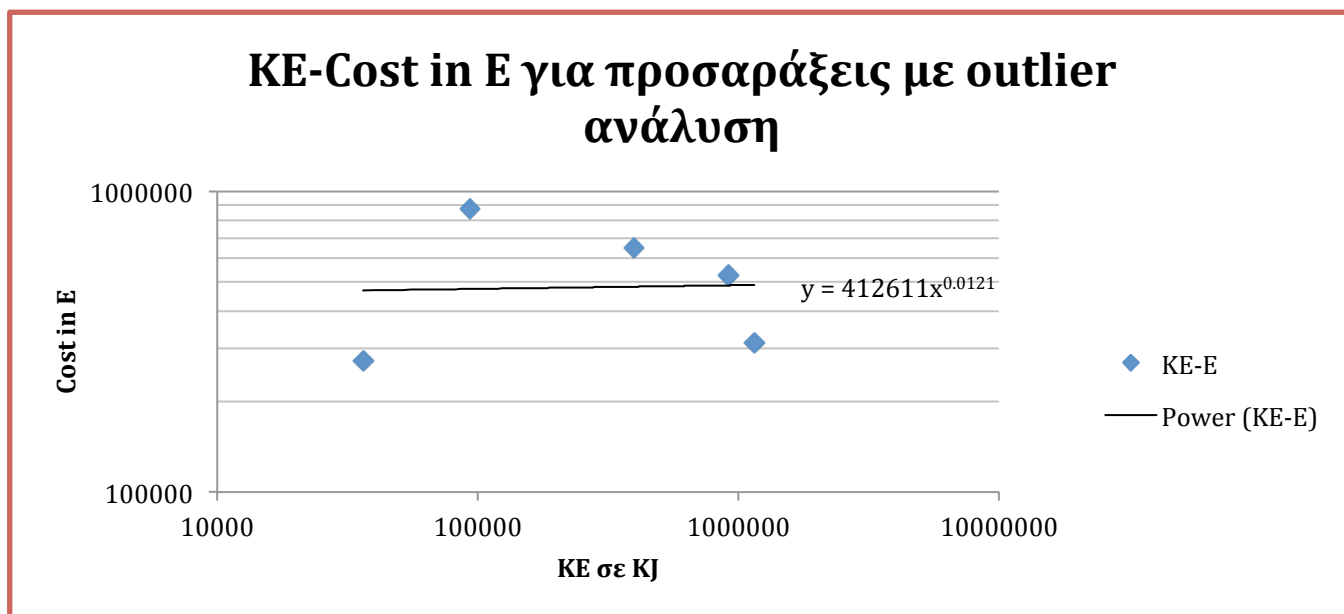
Σχήμα 102: Μεταβολή του κόστους των ατυχημάτων σε Ευρώ σε σχέση με την ΚΕ των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα για Bulk Carrier



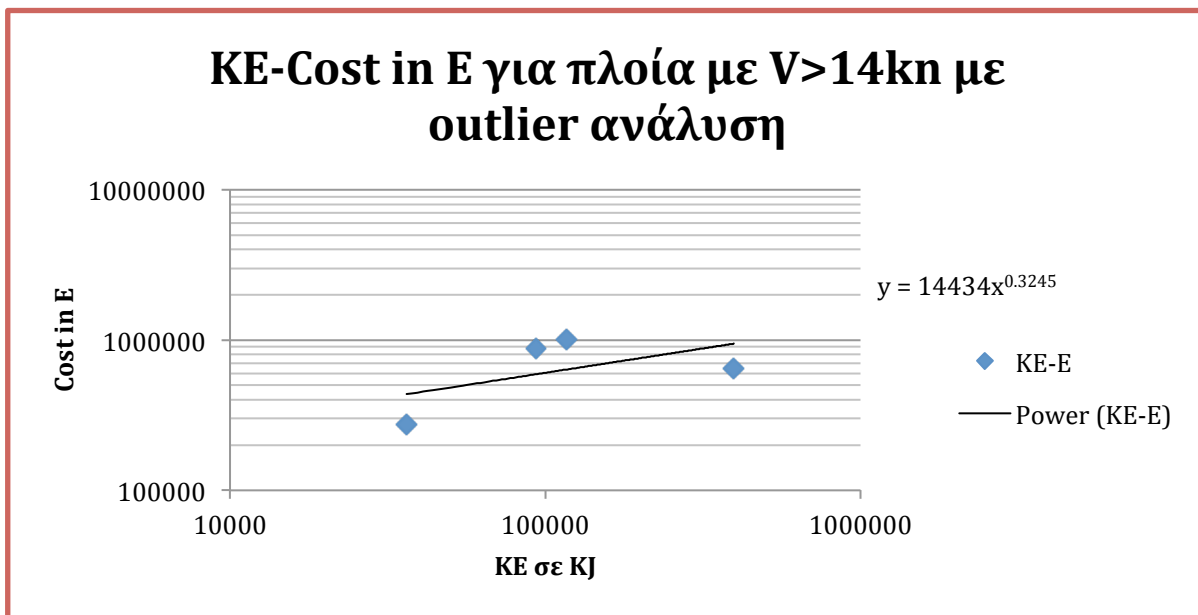
Σχήμα 103: Μεταβολή του κόστους των ατυχημάτων σε Ευρώ σε σχέση με την ΚΕ των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα για RO-RO



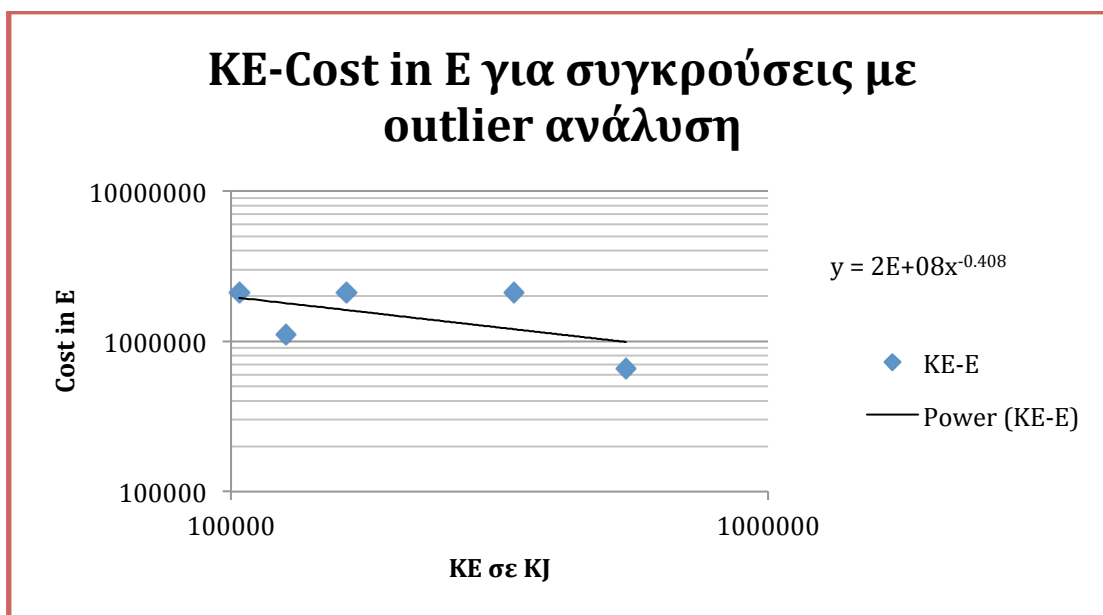
Σχήμα 104: Μεταβολή του κόστους των ατυχημάτων σε Ευρώ σε σχέση με την ΚΕ των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα για Δ/Ξ



Σχήμα 105: Μεταβολή του κόστους των ατυχημάτων σε Ευρώ σε σχέση με την ΚΕ των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα για προσαράξεις



Σχήμα 106: Μεταβολή του κόστους των ατυχημάτων σε Ευρώ σε σχέση με την ΚΕ των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα για πλοία με  $V > 14\text{kn}$



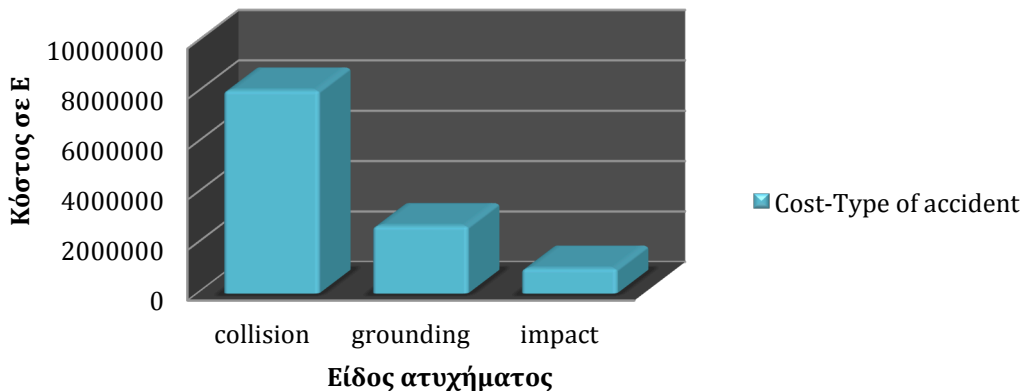
Σχήμα 107: Μεταβολή του κόστους των ατυχημάτων σε Ευρώ σε σχέση με την ΚΕ των εμπλεκόμενων πλοίων σε ατυχήματα για συγκρούσεις

Από τα παραπάνω διαγράμματα κόστους-Κινητικής Ενέργειας για τις επιμέρους κατηγορίες πλοίων βλέπουμε ότι για μικρά πλοία  $< 5000\text{GT}$ , γρήγορα πλοία  $> 14\text{Kn}$ , για  $\Delta/\Xi$  και για προσαράξεις ισχύει ότι όσο αυξάνεται η Κινητική Ενέργεια των εμπλεκόμενων πλοίων αυξάνεται και το κόστος των ατυχημάτων.



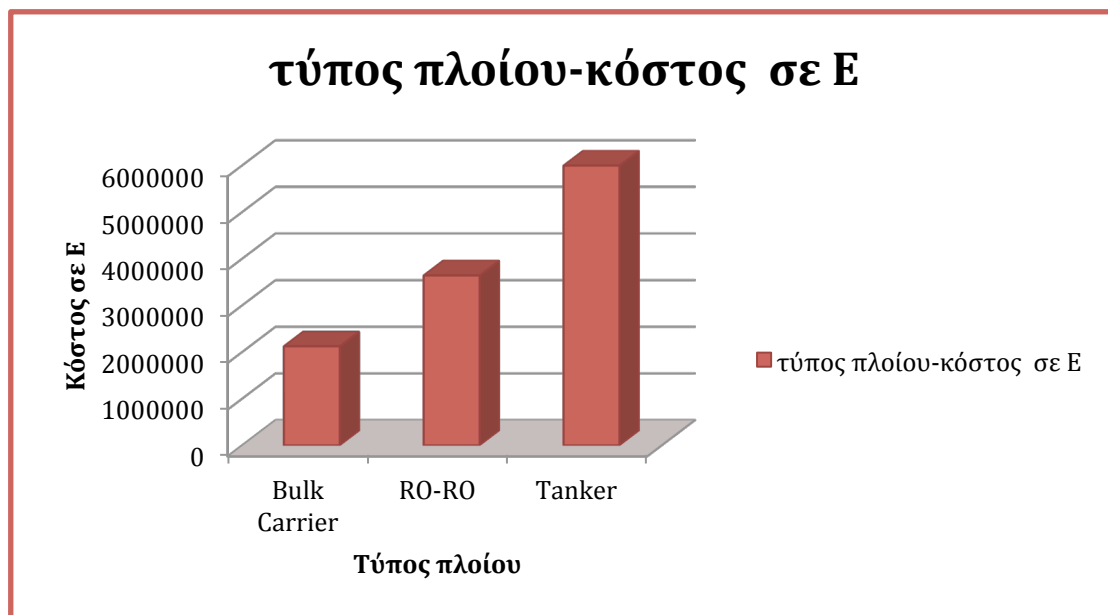


## Είδος ατυχήματος-Κόστος σε Ε



Σχήμα 108: Κόστος ατυχημάτων σε Ευρώ σχέση με το είδος του ατυχήματος

Από το παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι οι συγκρούσεις έχουν τις μεγαλύτερες οικονομικές συνέπειες.



Σχήμα 109: Κόστος ατυχημάτων σε Ευρώ σχέση με το τύπο πλοίου

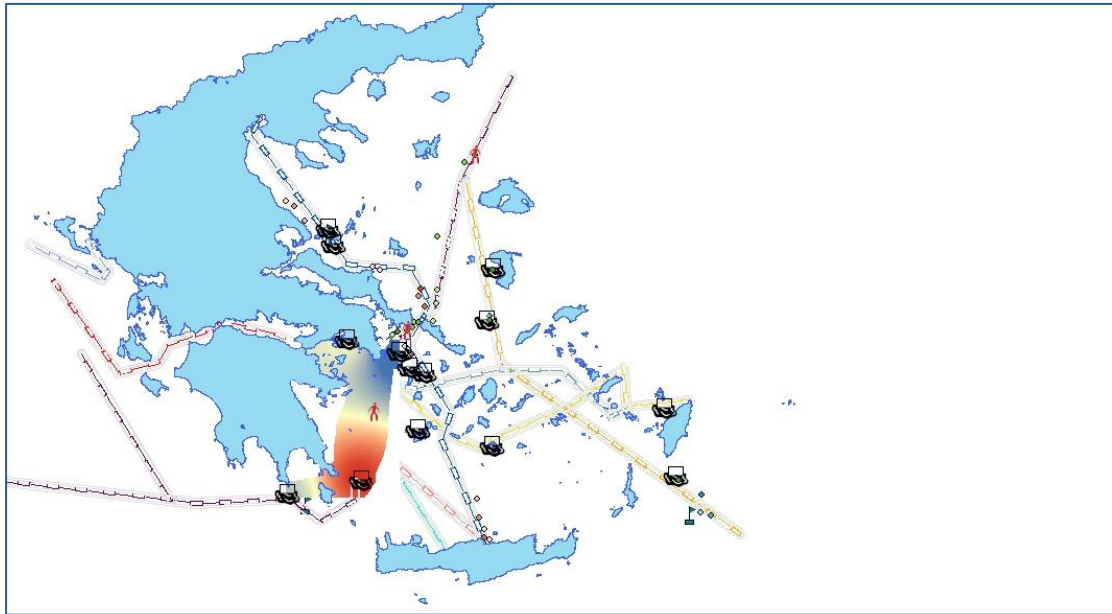
Από το παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι τα Δ/Ξ έχουν τις μεγαλύτερες οικονομικές συνέπειες.



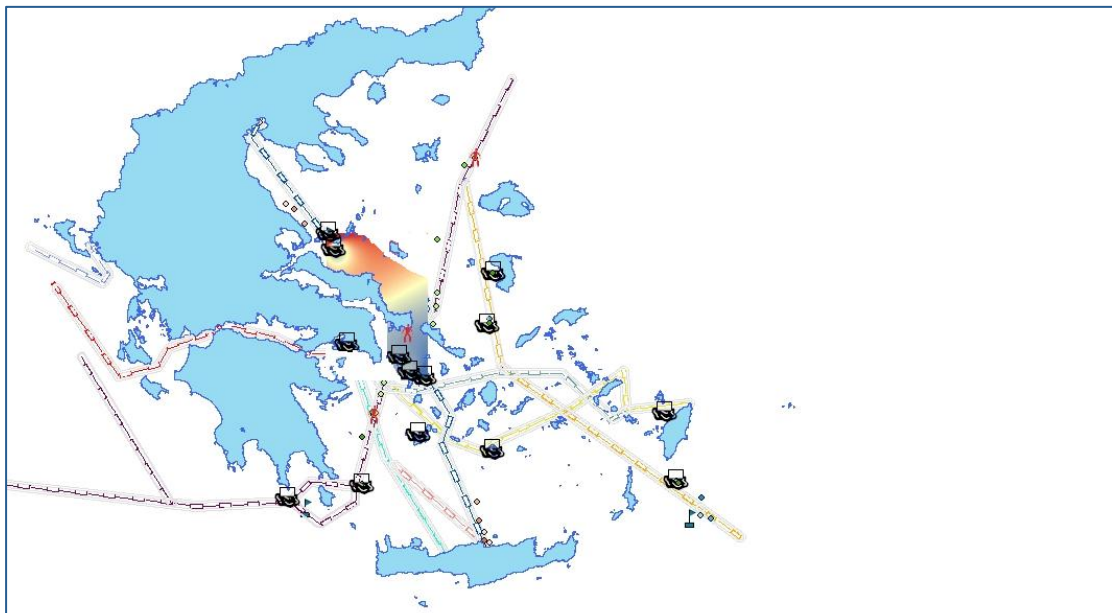


6.4 Απεικόνιση των ρυπάνσεων

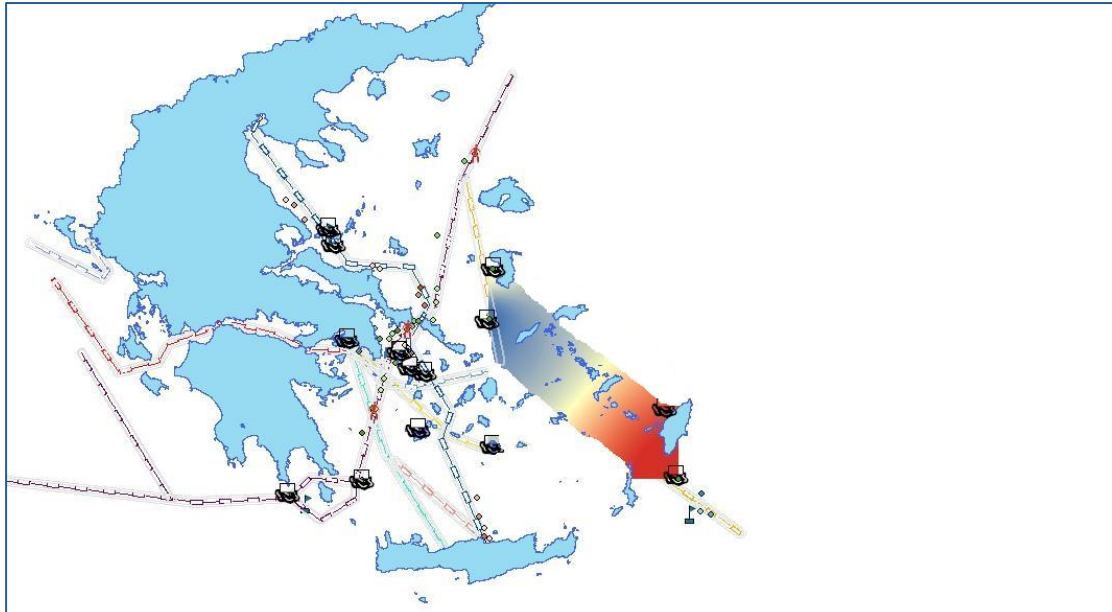
Οι εστίες ρύπανσης και τα θανατηφόρα ατυχήματα το διάστημα 2000-2007:



Σχήμα 110: Τόννοι πετρελαίου από ρυπάνσεις ανά αριθμό ατυχημάτων στη ζώνη 2

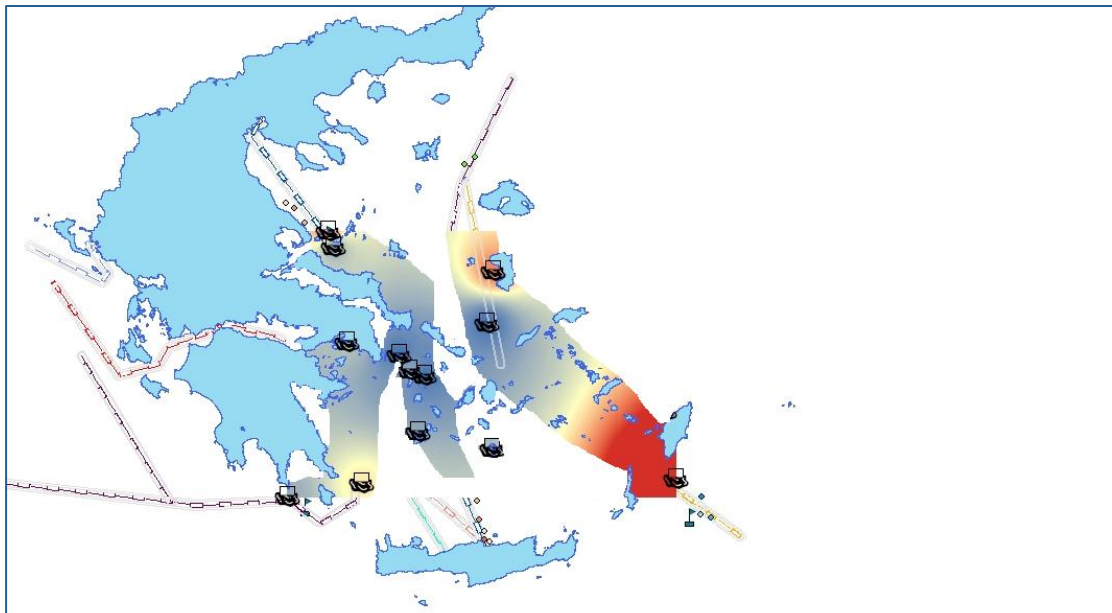


Σχήμα 111: Τόννοι πετρελαίου από ρυπάνσεις ανά αριθμό ατυχημάτων στη ζώνη 3

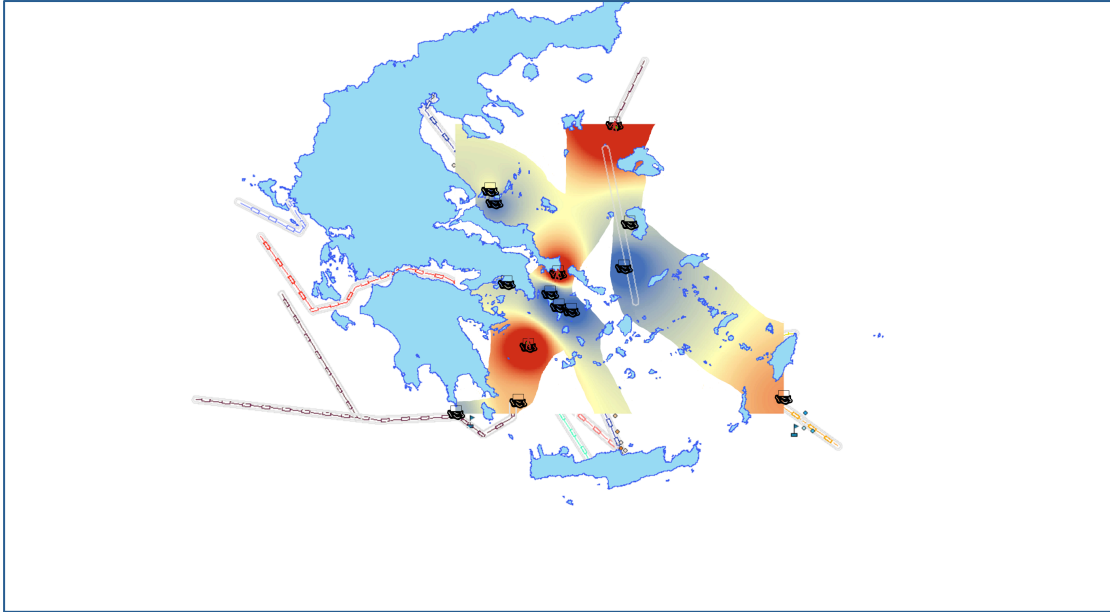


Σχήμα 112: Τόννοι πετρελαίου από ρυπάνσεις ανά αριθμό ατυχημάτων στη ζώνη 6

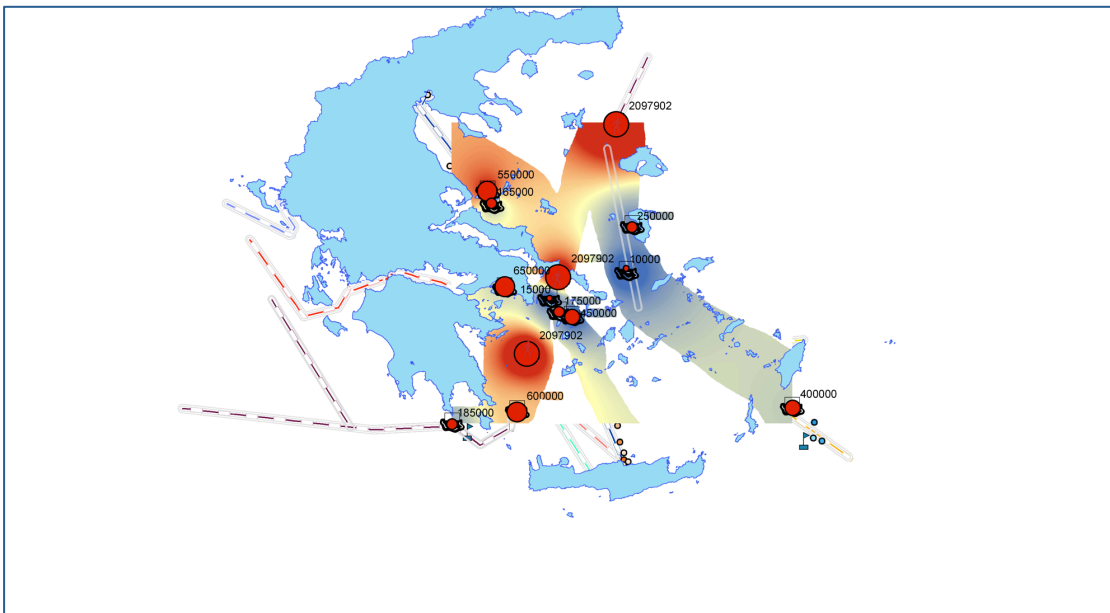
Από τα τρία παραπάνω σχήματα βλέπουμε ότι μεγάλες εστίες ρύπανσης από ατυχήματα ναυσιπλοΐας το διάστημα 2000-2007 έχουμε μεταξύ Λακωνίας και Μήλου, Μαγνησίας και Αλοννήσου, Χίου και Ψαρών, Καρπάθου και Ρόδου, Ρόδου και Σύμης, Τήλου.



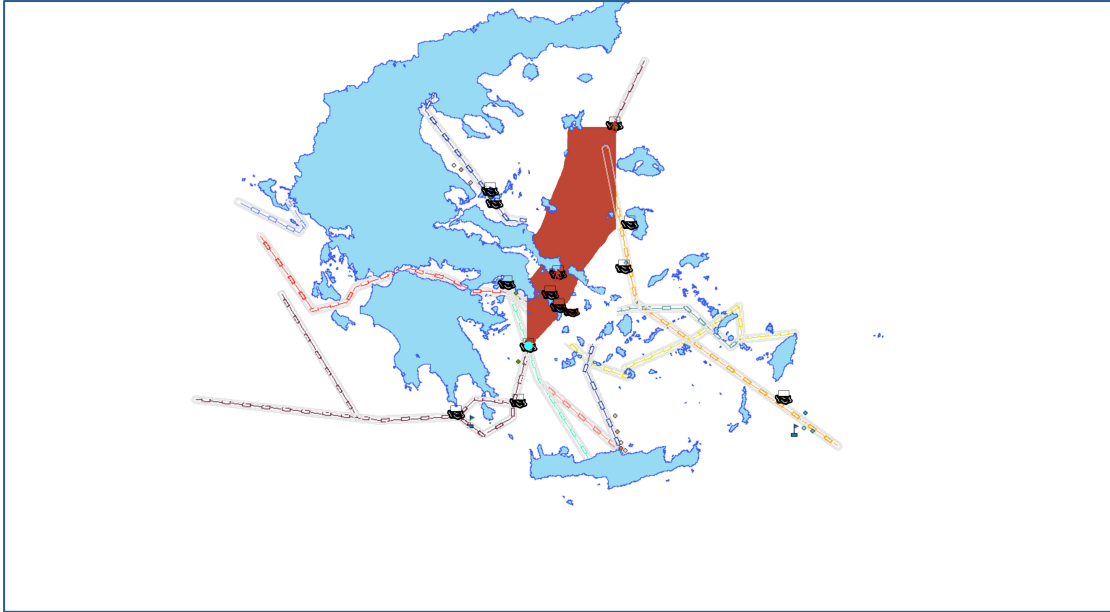
Σχήμα 113: Τόννοι πετρελαίου από ρυπάνσεις ανά shipdays στις 3 ζώνες



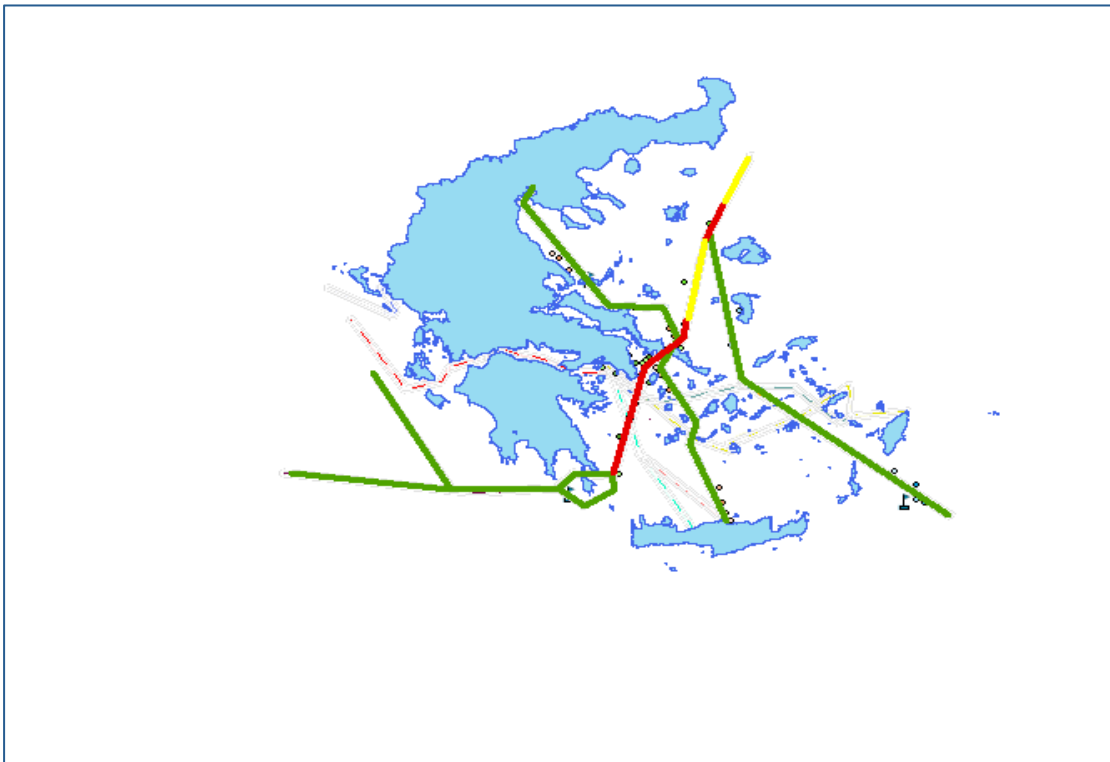
Σχήμα 114: Κόστος σε Ευρώ των ρυπάνσεων και των νεκρών των ατυχημάτων στις 3 ζώνες



Σχήμα 115: Κόστος σε Ευρώ των ρυπάνσεων και των νεκρών των ατυχημάτων επί την πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο στις 3 ζώνες



Σχήμα 116: Κόστος σε Ευρώ των θανατηφόρων ατυχημάτων επί την πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο στις 3 ζώνες



Σχήμα 117: Ζώνες επικινδυνότητας θανατηφόρου ατυχήματος

Από τα παραπάνω δύο σχήματα βλέπουμε ότι επειδή και τα τρία θανατηφόρα ατυχήματα ναυσιπλοΐας την τελευταία δεκαετία συνέβησαν στη ζώνη 2 Αδριατική-Δαρδανέλια άρα είχαν την ίδια πιθανότητα να πάθουν ατύχημα και επειδή ήταν ισάριθμοι οι νεκροί και στα τρία θανατηφόρα ατυχήματα προκύπτει ότι η επικινδυνότητα είναι ίδια και για τα τρία θανατηφόρα ατυχήματα.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7**

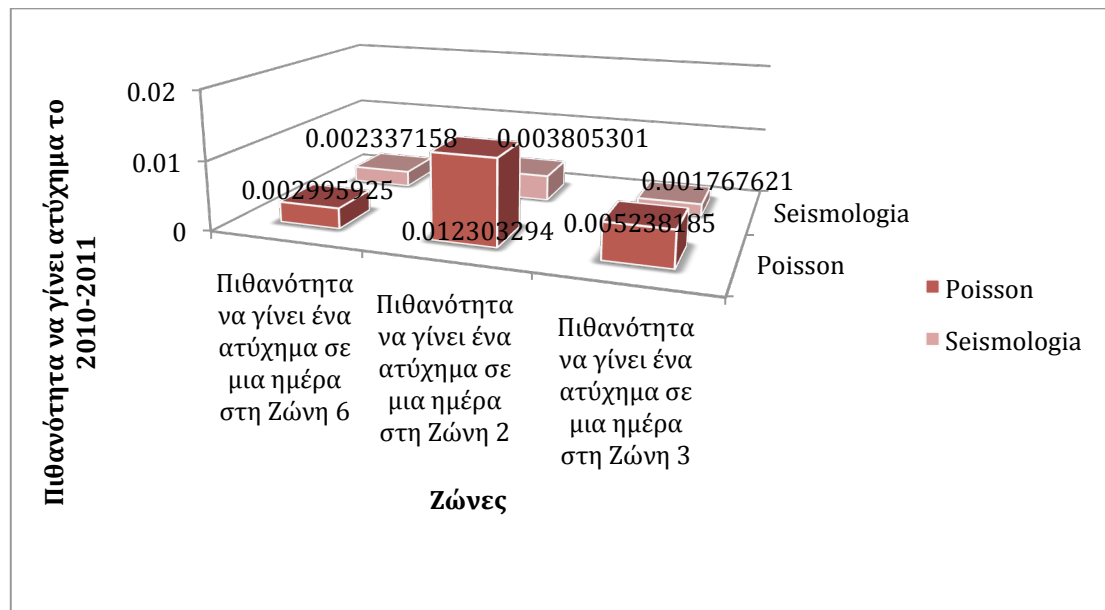
### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**



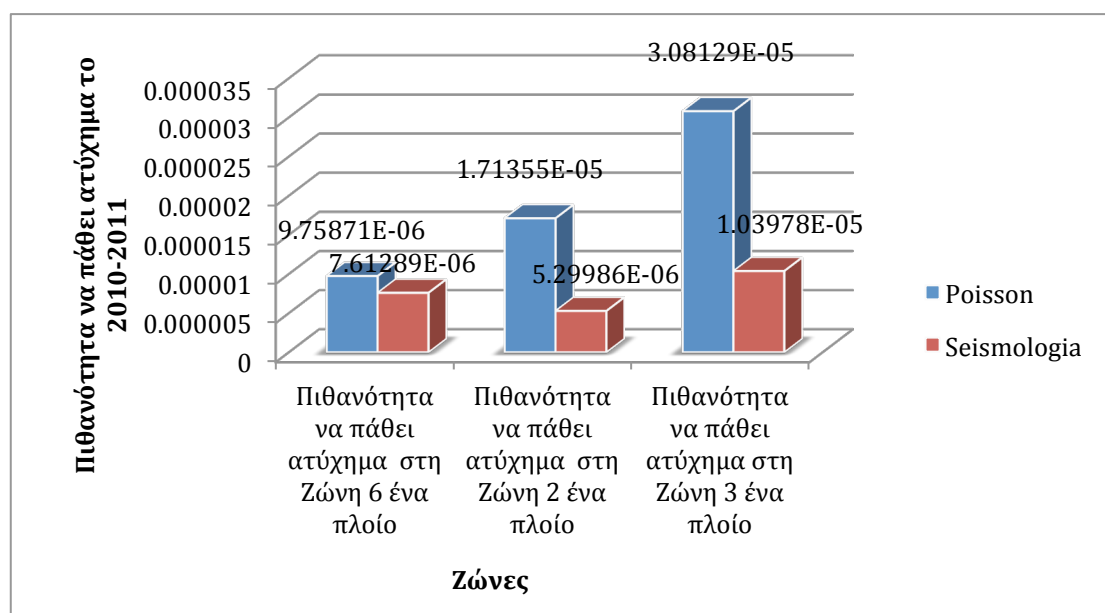
## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 7.1 Συμπεράσματα

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της πιθανότητας Poisson και της πιθανότητας της μεθόδου Richter-Gutenberg (το δεξιά σημείο λόγω του ότι είναι αθροιστική πιθανότητα) προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα:



Σχήμα 118: Σύγκριση πιθανοτήτων να γίνει ατύχημα σε μια μέρα με Poisson και με το μοντέλο του Richter-Gutenberg-Poisson



Σχήμα 119: Σύγκριση πιθανοτήτων να πάθει ατύχημα ένα πλοίο με Poisson και με το μοντέλο του Richter-Gutenberg-Poisson





Συγκεντρωτικά, μπορούμε να πούμε ότι με το μοντέλο του Richter-Gutenberg-Poisson λόγω του ότι είναι αθροιστική πιθανότητα υπερεκτιμά την πιθανότητα να γίνει ατύχημα και να πάθει ατύχημα ένα πλοίο μικρής ΚΕ. Για αυτό λόγω αυτής της ιδιότητας συγκρίνουμε το δεξιά σημείο της καμπύλης P-KE του μοντέλου του Richter-Gutenberg-Poisson με την αντίστοιχη πιθανότητα της στοχαστικής ανάλυσης Poisson. Οι αποκλίσεις των δύο μεθόδων εκφρασμένες επί τοις εκατό φαίνονται στο παρακάτω πίνακα, στον οποίο διαπιστώνουμε ότι όσο αυξάνεται το στατιστικό δείγμα (δηλαδή ο αριθμός των διελεύσεων) όπως στη ζώνη 2 αυξάνεται η απόκλιση μεταξύ των δύο μεθόδων:

Πιθανότητα να γίνει ένα ατύχημα σε μια ημέρα στη Ζώνη 6	Πιθανότητα να γίνει ένα ατύχημα σε μια ημέρα στη Ζώνη 2	Πιθανότητα να γίνει ένα ατύχημα σε μια ημέρα στη Ζώνη 3
21.9887944	69.07087505	66.25507658

Πιθανότητα να γίνει ένα ατύχημα σ' ένα χρόνο στη Ζώνη 6	Πιθανότητα να γίνει ένα ατύχημα σ' ένα χρόνο στη Ζώνη 2	Πιθανότητα να γίνει ένα ατύχημα σ' ένα χρόνο στη Ζώνη 3
21.75251331	24.86810167	39.45329569

Πιθανότητα να πάθει ατύχημα σε ένα χρόνο στη Ζώνη 6 ένα πλοίο	Πιθανότητα να πάθει ατύχημα σε ένα χρόνο στη Ζώνη 2 ένα πλοίο	Πιθανότητα να πάθει ατύχημα σε ένα χρόνο στη Ζώνη 3 ένα πλοίο
21.75251331	59.28900507	39.45329572

ΠΙΝΑΚΑΣ 18: Οι επί τοις εκατό αποκλίσεις των πιθανοτήτων της Poisson και της μεθόδου του Richter-Gutenberg-Poisson

Αρχικά, θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε για το μοντέλο Richter-Gutenberg-Poisson ότι η σχετικά μικρή διαφορά μεταξύ των πιθανοτήτων να γίνει ατύχημα με πλοίο μέγιστου μεγέθους Κινητικής Ενέργειας και να γίνει ατύχημα με πλοίου του μικρότερου δυνατού μεγέθους Κινητικής Ενέργειας υπερεκτιμά την πιθανότητα να γίνει ατύχημα με πλοίο με μεγάλη Κινητική Ενέργεια.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η πιθανότητα ατυχήματος π.χ. στη ζώνη 6 με πλοίο Κινητικής Ενέργειας 9040000 K J (μέγιστη ΚΕ στη ζώνη αυτή) είναι περίπου ίδια με την πιθανότητα να γίνει ακριβώς 1 ατύχημα (με πλοίο οποιασδήποτε Κινητικής Ενέργειας). Το γεγονός όμως, ότι στα 10 χρόνια καταγραφών παρατηρήθηκε π.χ. Στη ζώνη 6 ένα μόνο ατύχημα πλοίου με Κινητική Ενέργεια 9040000 KJ και ένα μόνο ατύχημα πλοίου με Κινητική Ενέργεια 140000 KJ αυτό δεν σημαίνει κατ' ανάγκη ότι αυτά τα δύο ατυχήματα θα πρέπει να αξιολογούνται με την ίδια πιθανότητα εμφάνισης.





Στην πραγματικότητα στο Αιγαίο είναι από λίγα έως ελάχιστα τα πλοία με υψηλή Κινητική Ενέργεια. Συνεπώς, η πιθανότητα να γίνει ατύχημα με πλοίο με Κινητική Ενέργεια πολύ υψηλή είναι μικρότερη από την πιθανότητα να γίνει ατύχημα με πλοίο μικρής Κινητικής Ενέργειας. Αυτό είναι ένα πρόβλημα της στοχαστικής διαδικασίας Poisson που δεν λαμβάνει υπ' όψη την παράμετρο αυτή.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το μοντέλο Richter-Gutenberg-Poisson μας δίνει την πιθανότητα να γίνει ατύχημα σε μια περιοχή, ενώ η πιθανότητα που προκύπτει από τη στοχαστική διαδικασία Poisson είναι η πιθανότητα να πάθει ατύχημα ένα πλοίο.

Επίσης βλέπουμε ότι περιοχές με μεγάλη επικινδυνότητα είναι αντίστοιχα και για τις τρεις ζώνες οι παρακάτω:

Στη ζώνη 6 από Δαρδανέλια-Σουέζ

➤ *Η περιοχή μεταξύ Καρπάθου-Ρόδου*

Στη ζώνη 2 από Αδριατική- Δαρδανέλια

➤ *Η περιοχή μεταξύ Λήμνου-Μυτιλήνης (σημείο συνάντησης των ζωνών 6,2)*

➤ *Η περιοχή μεταξύ Σερίφου-Πελοποννήσου και των Στενών Άνδρου-Εύβοιας*

Στη ζώνη 3 από Θεσσαλονίκη-Ηρακλειο

➤ *Η περιοχή μεταξύ της Σκύρου και των Στενών Εύβοιας- Άνδρου*

➤ *Η περιοχή μεταξύ της Φολεγάνδρου και ανοιχτά του Ηρακλείου Κρήτης*

Από τα διαγράμματα κόστους-Κινητικής Ενέργειας για τις επιμέρους κατηγορίες πλοίων βλέπουμε ότι για μικρά πλοία <5000GT, γρήγορα πλοία >14 Κn, για Δ/Ξ και για προσαράξεις ισχύει ότι όσο αυξάνεται η Κινητική Ενέργεια των εμπλεκόμενων πλοίων αυξάνεται και το κόστος των ατυχημάτων. Επίσης, τις μεγαλύτερες οικονομικές συνέπειες, τις εντοπίζουμε στις συγκρούσεις και στα δεξαμενόπλοια.

Όσον αφορά το μοντέλο δεν μπορούμε να διαπιστώσουμε αν επαληθεύεται για όλα τα είδη πλοίων και για όλες τις επιμέρους κατηγορίες καθώς δεν έχουμε την δυνατότητα να δούμε το κόστος των υλικών ζημιών των εμπλεκόμενων σε ατυχήματα ναυσιπλοΐας πλοίων παρά μόνο το κόστος των πετρελαιοκηλίδων που δημιουργήθηκαν και των απωλειών ανθρώπινων ζωών.



## 7.2 Αντί επιλόγου....

Εν κατακλείδει, εντοπίζεται μεγάλο πρόβλημα στο Αιγαίο, καθώς η πιθανότητα να συμβεί ατύχημα είναι μεγάλη και συγκεκριμένα στη ζώνη 2 από Αδριατική προς Δαρδανέλια είναι σχεδόν σίγουρο ότι θα έχουμε τουλάχιστον ένα ατύχημα ναυσιπλοΐας κάθε χρόνο. Ας μη λησμονούμε, επίσης, και την παρουσία ή εγκατάσταση νέων αγωγών στην ανατολική Μεσόγειο που θα αυξήσει τους κινδύνους για ενδεχόμενα νέα περιστατικά θαλάσσιας ρύπανσης.

Συνεπώς κρίνεται απαραίτητη η λήψη κάποιων μέτρων για τον περιορισμό των ατυχημάτων. Κάποια επιθυμητά μέτρα θα μπορούσαν να είναι τα ακόλουθα:

- ⊗ *Η επέκταση της αιγιαλίτιδας ζώνης στα 12 ν.μ.*
- ⊗ *Νέες διμερείς συμφωνίες με όμορα κράτη*
- ⊗ *Η υιοθέτηση οικολογικής ζώνης*
- ⊗ *Να εφαρμοστεί το "ασφαλές θαλάσσιο δίκτυο", δηλ. το σύστημα καταγραφής της θαλάσσιας κυκλοφορίας στην ΕΕ από την EMSA, το οποίο προσφέρει τα μέσα καταγραφής των πλοίων που εκτελούν ενδοκοινοτικό εμπόριο. Στο άτυπο συμβούλιο που οργάνωσε η Βελγική προεδρεία στις 16 Σεπτεμβρίου 2010 στην Αμβέρσα, έδειξαν ενδιαφέρον οι υπουργοί μεταφορών της ΕΕ για ένα πιλοτικό πρόγραμμα "θαλάσσια ζώνη", το οποίο πρέπει να εφαρμοστεί με τη βοήθεια του EMSA.*
- ⊗ *Διεύρυνση της κάλυψης του Εθνικού συστήματος VTΜIS Το κεντρικό σύστημα VTΜIS βρίσκεται στο κτίριο του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας (ΥΕΝ) και συνδέεται με τα κέντρα VTS. Κάθε κέντρο VTS επεξεργάζεται όλα τα στοιχεία κυκλοφορίας πλοίων της περιοχής ευθύνης του που συλλέγονται από τους κατά τόπους σταθμούς αισθητήρων. Να τοποθετηθούν νέοι σταθμοί αισθητήρων RSS (Remote Sensor Sites), νέα κέντρα VTS και νέα κέντρα RTS (Regional Traffic Services). Κάθε σταθμός αισθητήρων περιλαμβάνει κατάλληλο αριθμό συστημάτων και συσκευών-αισθητήρων για συλλογή και τοπική επεξεργασία των στοιχείων κυκλοφορίας και συνθηκών περιβάλλοντος της περιοχής του.*
- ⊗ *Να εξοπλιστούν όλα τα περιπολικά σκάφη του λιμενικού με συστήματα αυτόματης μεταφοράς εικόνας θαλάσσιας κυκλοφορίας από το κέντρο VTΜIS προς τα σκάφη και αντίστροφα, καθώς και όλα τα περιφερειακά Λιμεναρχεία της χώρας να λαμβάνουν πληροφορίες κυκλοφορίας των πλοίων από το VTΜIS και να έχουν τη δυνατότητα εισαγωγής στοιχείων κυκλοφορίας της περιοχής αρμοδιότητάς τους.*



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- *P. Terndrup pedersen, 2000, Technical University of Denmark, Building 101E, DK-2800 Lyngby, Denmark S. Valsgard Det Norske Veritas Classification AS, Oslo, Norway D. Olsen Cowl consult, DK-2800 Lyngby, Denmark and S. Spangenberg Great Belt Link Ltd, DK-1601 Copenhagen, Denmark.*
- *W. Galor ,March 2006 An Assessment of Ship Impact on the Ground during Maneuvering in a Port Water Area, International Journal of Materials & Structural Reliability Vol.4, No.1 89-97.*
- *Shengming Zhang , 2008, Plate tearing and bottom damage in ship grounding Lloyd's Register of Shipping, UK.*
- *P. Terndrup Pedersen , Shengming ZhangDepartment , Effect of ship structure and size on grounding and collision damage distributions, Naval Architecture and Offshore Engineering, Technical University of Denmark, Building 101E, DK-2800 Lyngby, Denmark.*
- *Manolis S. Samuelides , Nikolaos P. Ventikos , Study of grounding incidents: description of contact and frequency of occurrence School of Naval Architecture and Marine Engineering, National Technical University of Athens.*
- *Kontovas, C.A., Psaraftis, H.N. , Ventikos N. , September 2010, “An Empirical Analysis of IOPCF Oil Spill Cost Data”, Marine Pollution Bulletin, Volume 60, Issue 9 Pages 1455-1466.*
- *Βάση δεδομένων από την Εταιρία IMIS.*
- *Διαδικτυακή βάση δεδομένων sea-web.com.*
- *Gary King Center for Basic Research in the Social Sciences, 34 Kirkland Street, Harvard University, Cambridge, MA 02138.*
- *Langche Zeng , 2000, Department of Political Science, George Washington University, Funger Hall, 2201 G Street NW, Washington, DC 20052.*
- *Θ. Σώκος, 2006, Εργαστήριο σεισμολογίας, Τμήμα Γεωλογίας.*
- *Waly Chrobrego , 2000, Maritime University of Szczecin, str.1/2, 70-500 Szczecin, Poland.*
- *Ventikos, I.C. Gemelos, E.S. Samuelides, Survey on navigational and non-navigational accidents: statistical analysis and risk assessment N.P, School of Naval Architecture and Marine Engineering, National Technical University of Athens, Greece .*
- *J.K. Paik, LRET Centre of Excellence, Pusan National University, Korea*
- *Jutta Ylital , Ship-Ship Collision Probability of the Crossing Area between Helsinki and Tallinn, Helsinki University of Technology.*
- *B. R. Calder, K. Schwehr, Traffic Analysis for the Calibration of Risk Assessment Methods.*





- *Di Jin a, Hauke L. Kite-Powell , Eric Thunberg b, Andrew R. Solow a, Wayne K. Talley, A model of fishing vessel accident probability.*
- *B.C. Papazachos , 1996, Long-term earthquake prediction trench-arc systemb.c. papazachos Geoph,&ul Luhorcrtoty, Aristotelium University of Thessaloniki, Thessaloniki (Greece] Seismologicul Institute.*
- *E. E. Papadimitriou, B. C. Papazachos and G. F. Karakaisis, 1995 On the validity of the Regional Time and Magnitude Predictable Model in China Changyuan Qin, Laboratory of Geophysics, University of Thessaloniki, GR-54006, Thessaloniki, Greece.*
- *Sergiog Ferraes, 1998, Earthquake magnitude probabilities and statistical independence for Mexico city earthquakes.*
- *Boutsikas M.V. Σημειώσεις Στατιστικής ΙΙ, Τμήμα Οικονομικής Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Πειραιώς.*
- *Paul W. Burton and Kostas C. Makropoulos, Seismic Risk of Circum-Pacific Earthquakes: II. Extreme Values Using Gumbel's Third Distribution and the Relationship with Strain Energy Release .*
- *Kalyan Raman, , May 2000, The Laplace Rule of Succession Under A General Prior, University of Michigan in Flint School of Management Flint, MI 48502 .*
- *Birpınar & Gonca F. Talu & Barbaros Gönençgil , Environmental effects of maritime traffic on the İstanbul Strait Mehmet E. .*
- *Dargahi-Noubary, 1999, The use of modern statistical theories in the assessment of earthquake hazard, with application to quiet regions of eastern North America G.R. Department of Mathematics and Computer Science, Bloomsburg University, Bloomsburg, PA 17815, USA.*
- *V.H.M. Ligthart, 1979, “Determination of probability and of risk of marine accidents with respect to gas carriers proceeding in Dutch coastal and inland waters”, Netherlands Maritime Inetitude, Navigation Research Centre.*
- *Dimitrios Lekkas, Spyros Vosinakis, Charalambos Alifieris, John Darzentas. 2003, Marinetraffic: designing a collaborative interactive vessel traffic information system, University of the Aegean.*
- *Mehmet E. Birpınar, Gonca F. Talu, Gonul Su, Mehmet Gulbey, 2006, The Effect of Dense Maritime Traffic On The Bosphorus Strait and Marmara Sea Pollution.*
- *Euromed cooperation on maritime safety and prevention of pollution from ships (safemed), euro-mediterranean partnership, 2008, Study of Maritime Traffic Flows in the Mediterranean Sea.*
- *Rolf Skjong and Monika Eknes, 1999, Economic Activity and Societal Risk Acceptance, Det Norske Veritas.*





Ανάλυση ατυχημάτων ναυσιπλοΐας στο Αιγαίο Πέλαγος

- *Harilaos N. Psaraftis, George Panagakos, Nicholas Desypris, Nicholas Ventikos, An analysis of maritime transportation risk factors Department of Naval Architecture and Marine Engineering National Technical University of Athens, Greece.*
- *Shenping Hu, Quangen Fang, Haibo Xia, Yongtao Xi, 2007, Formal safety assessment based on relative risks model in ship navigation, Shanghai Maritime University.*
- *Jutta Ylitalo, 2010, Modelling Marine Accident Frequency, School of Science and Technology Faculty of Information and Natural Sciences.*

