



ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΕΥΕΛΠΙΔΩΝ
Τμήμα Στρατιωτικών Επιστημών

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ ΕΤΟΥΣ 2016-17

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΑ & ΑΝΑΛΥΣΗ

(ΠΔ 97 /2015/ΦΕΚ 163Α'/20.08.2014)



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΚΡΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ- ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΘΕΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΝΑΥΣΙΠΛΟΙΑΣ

Διατριβή που υπεβλήθη για την μερική ικανοποίηση των απαιτήσεων
για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

Υπό:

ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΠΟΥΛΟΥ ΕΥΤΥΧΙΑ

A.M.: 20140180039

ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2017

Η Μεταπτυχιακή Διατριβή της ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΠΟΥΛΟΥ ΕΥΤΥΧΙΑΣ εγκρίνεται:

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθηγητής

ΓΑΛΑΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ (Επιβλέπων)



Καθηγητής

ΜΠΟΥΡΝΕΤΑΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ



Καθηγητής

ΤΣΑΦΑΡΑΚΗΣ ΣΤΕΛΙΟΣ



© Copyright υπό ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΠΟΥΛΟΥ ΕΥΤΥΧΙΑ

Έτος 2017

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΚΡΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	13
§1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	13
§2. ΑΙΤΙΑ – ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ.....	19
2.1. ΑΙΤΙΑ.....	19
2.2 ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ.....	23
§3. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	28
3.1 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ.....	28
3.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΑΚΡΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ	47
§1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ	47
§2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΩΔΙΚΑ	49
§3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΑΚΡΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	61
§1. ΑΝΑΛΥΣΗ	61
§2. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΕΛΛΑΔΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ	85
§1. ΕΦΑΡΜΟΓΗ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	85
§2. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	87
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	88

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1 <i>Freak wave</i>	13
Εικόνα 1.2 Μέτρηση <i>Draupner wave</i>	14
Εικόνα 1.3 Πειραματική προσομοίωση διαδικασίας δημιουργίας των γιγάντιων κυμάτων	16
Εικόνα 1.4 Συμβολή κυμάτων	19
Εικόνα 1.5 Ναυάγιο πλοίου στις ακτές της Χιλής	23
Εικόνα 1.6 Διάδοση κύματος	29
Εικόνα 1.7 Τοπικός άνεμος	30
Εικόνα 1.8 Μεταφερόμενα κύματα	31
Εικόνα 1.9 Μορφολογία εδάφους	32
Εικόνα 1.10 Διάθλαση	33
Εικόνα 1.11 Εμποδισμός	33
Εικόνα 1.12 Κυριότερα θαλάσσια ρεύματα (NOAA)	34
Εικόνα 2.1 Συγκεντρωτικός πίνακας σημείων	56
Εικόνα 2.2 Σημείο πρώτο: Κάσος	57
Εικόνα 2.3 Σημείο δεύτερο: Αμοργός	57
Εικόνα 2.4 Σημείο τρίτο: Σκύρος	58
Εικόνα 2.5 Σημείο τέταρτο: Κύθηρα	58
Εικόνα 2.6 Σημείο πέμπτο: Δυτική κρήνη	59
Εικόνα 2.7 Σημείο έκτο: Μεθώνη	59
Εικόνα 2.8 Σημείο έβδομο: Πάργα	60
Εικόνα 2.9 Συγκεντρωτικός χάρτης σημείων	60
Εικόνα 3.1 Συγκεντρωτικός πίνακας μεταβλητών	62
Εικόνα 3.2 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak1} - P_{freak2}	62
Εικόνα 3.3 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak1} - QPG	63
Εικόνα 3.4 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak2} - QPG	63
Εικόνα 3.5 Διάγραμμα μεταβολής $avgkritiroA1$ - $avgQPGA1$	64
Εικόνα 3.6 Συγκεντρωτικός πίνακας μεταβλητών	64
Εικόνα 3.7 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak1} - P_{freak2}	65
Εικόνα 3.8 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak1} - QPG	65

Εικόνα 3.9 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak2} - QPG	66
Εικόνα 3.10 Διάγραμμα μεταβολής $avgkritiro.A1-avgQPGA1$	66
Εικόνα 3.11 Συγκεντρωτικός πίνακας μεταβλητών	67
Εικόνα 3.12 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak1} - P_{freak2}	67
Εικόνα 3.13 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak1} - QPG	68
Εικόνα 3.14 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak2} - QPG	68
Εικόνα 3.15 Διάγραμμα μεταβολής $avgkritiro.A1-avgQPGA1$	69
Εικόνα 3.16 Συγκεντρωτικός πίνακας μεταβλητών	69
Εικόνα 3.17 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak1} - P_{freak2}	70
Εικόνα 3.18 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak1} - QPG	70
Εικόνα 3.19 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak2} - QPG	71
Εικόνα 3.20 Διάγραμμα μεταβολής $avgkritiro.A1-avgQPGA1$	71
Εικόνα 3.21 Συγκεντρωτικός πίνακας μεταβλητών	72
Εικόνα 3.22 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak1} - P_{freak2}	72
Εικόνα 3.23 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak1} - QPG	73
Εικόνα 3.24 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak2} - QPG	73
Εικόνα 3.25 Διάγραμμα μεταβολής $avgkritiro.A1-avgQPGA1$	74
Εικόνα 3.26 Συγκεντρωτικός πίνακας μεταβλητών	74
Εικόνα 3.27 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak1} - P_{freak2}	75
Εικόνα 3.28 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak1} - QPG	75
Εικόνα 3.29 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak2} - QPG	76
Εικόνα 3.30 Διάγραμμα μεταβολής $avgkritiro.A1-avgQPGA1$	76
Εικόνα 3.31 Συγκεντρωτικός πίνακας μεταβλητών	77
Εικόνα 3.32 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak1} - P_{freak2}	77
Εικόνα 3.33 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak1} - QPG	78
Εικόνα 3.34 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak2} - QPG	78
Εικόνα 3.35 Διάγραμμα μεταβολής $avgkritiro.A1-avgQPGA1$	79
Εικόνα 3.36 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak1} - P_{freak2}	80
Εικόνα 3.37 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak1} - P_{freak2}	80
Εικόνα 3.38 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak1} - QPG	81
Εικόνα 3.39 Διάγραμμα συσχέτισης P_{freak1} - QPG	82

<i>Εικόνα 3.40 Διάγραμμα μεταβολής $avgkritiro_{A1-avgQPGA1}$</i>	<i>83</i>
<i>Εικόνα 3.41 Διάγραμμα μεταβολής $avgkritiro_{A1-avgQPGA1}$</i>	<i>83</i>
<i>Εικόνα 4.1 Συγκεντρωτικός πίνακας επικινδυνότητας των σημείων</i>	<i>86</i>
<i>Εικόνα 4.2 Χάρτης επικινδυνότητας περιοχών εφαρμογής</i>	<i>87</i>

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί διπλωματική διατριβή στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος «Εφαρμοσμένης επιχειρησιακής έρευνας και ανάλυσης». Πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω ορισμένους από τους ανθρώπους που γνώρισα, συνεργάστηκα μαζί τους και έπαιξαν πολύ σημαντικό ρόλο στην πραγματοποίησή της. Πρώτο από όλους θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής εργασίας, Καθηγητή Γεώργιο Γαλάνη για την πολύτιμη καθοδήγηση του και την εμπιστοσύνη και εκτίμηση που μου έδειξε. Τις ευχαριστίες μου εκφράζω και στους καθηγητές Απόστολο Μπουρνέτα και Στέλιο Τσαφαράκη που δέχτηκαν να είναι μέλη της τριμελούς επιτροπής/αξιολόγησης της μεταπτυχιακής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και το σύνολο των καθηγητών του μεταπτυχιακού προγράμματος για την εξαιρετική διδασκαλία τους και τα εφόδια που παρείχαν.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική διατριβή θα εξετασθούν μέσω στατιστικής ανάλυσης επιχειρησιακά μοντέλα στη βάση ορισμένων προγνωστικών δεικτών για την εκτίμηση ακραίων τιμών θαλάσσιου κυματισμού (freak waves) το οποίο βρίσκει εφαρμογή σε θέματα ναυσιπλοίας και ναυτιλίας. Αυτά τα κύματα τα λεγόμενα και ως extreme waves, freak waves, monster waves, episodic waves, killer waves και abnormal waves είναι ασυνήθιστα μεγάλα επιφανειακά κύματα που μπορεί να είναι εξαιρετικά επικίνδυνα. Η πρόβλεψη της εμφάνισης αυτών των κυμάτων είναι κάτι που ενδιαφέρει πάρα πολύ λόγω της επικινδυνότητας και των καταστροφών που προκαλούν σε θαλάσσιες κατασκευές και σε πλοία. Το θέμα απασχολεί έντονα τις ναυτιλιακές εταιρείες που επενδύουν σε θέματα κατασκευής και μηχανολογίας λαμβάνοντας υπ' όψιν την πιθανότητα εμφάνισης τέτοιων κυμάτων.

Η παρούσα εργασία διαρθρώνεται ως εξής: Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας που απαιτείται για την ορθή κατανόηση των όρων, του προβλήματος, των μεθόδων και των προσεγγίσεων που θα αναπτυχθούν στη συνέχεια. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσεται το πειραματικό μέρος της διατριβής, το οποίο περιλαμβάνει τον κώδικα και την επεξήγησή του, καθώς και την επιλογή των σημείων εφαρμογής της μεθοδολογίας. Στο τρίτο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα με πίνακες και γραφικές απεικονίσεις που προκύπτουν από το προηγούμενο κεφάλαιο. Επιπλέον θα καθοριστούν οι κατάλληλοι δείκτες εκτίμησης ακραίων τιμών θαλάσσιου κυματισμού. Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε εφαρμόζεται σε επτά ενδεικτικά σημεία του Ελλαδικού χώρου. Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων οδηγεί στην κατηγοριοποίηση των περιοχών ως προς το βαθμό επικινδυνότητάς τους για την εμφάνιση ακραίων τιμών θαλάσσιου κυματισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΚΡΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ

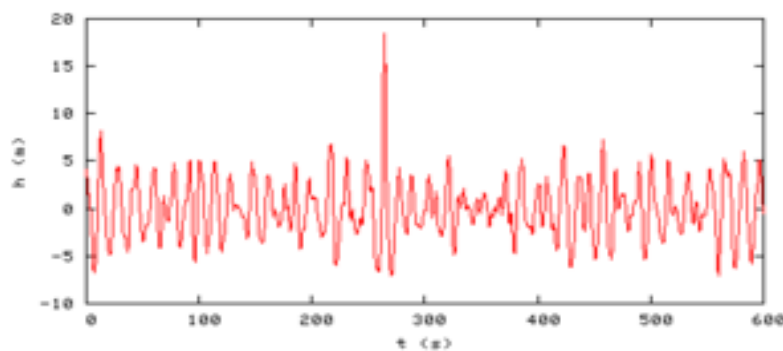
§1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Τα γιγαντιαία κύματα (freak waves) είναι κύματα μεγάλου ύψους και ανώμαλου σχήματος και απασχολούν την επιστημονική ναυτιλιακή κοινότητα εδώ και πολλές δεκαετίες. Τα κύματα αυτά είναι τεράστια και μοιάζουν σαν τοίχοι νερού ή τρύπες στην θάλασσα, τα οποία εμφανίζονται χωρίς προειδοποίηση (Εικόνα 1).



Εικόνα 1.1 Freak wave

Υπάρχουν πολλά παραδείγματα εμφάνισης τέτοιων κυμάτων όπως το 1826 ο Captain Dumontd' Urville ένας Γάλλος επιστήμονας μέτρησε κύματα 25-30 μέτρα ύψος. Από πολλούς θεωρήθηκε αστείο και μόνο απο τρεις συναδέλφους υποστηρίχτηκε (Draper, 1964). Οι υποψίες για τέτοιου είδους κύματα ενδυναμώθηκαν το 1978 όταν χάθηκε το εμπορικό πλοίο Munchen (Rosenthal 2006). Το 1987 οι Klinting and Sand ανέφεραν σημαντικά περιστατικά γιγάντιων κυμάτων (freak waves) στην Βόρεια Θάλασσα. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν σαν αποδεικτικά στοιχεία για τα κύματα αυτά στον ωκεανό υπό κανονικές συνθήκες (Stansell et al 2003, Guedes Soares et al 2003). Επίσης το κύμα Draupner, ένα ενιαίο γιγάντιο κύμα που μετρήθηκε την Πρωτοχρονιά του 1995 στη βόρεια θάλασσα, επιβεβαίωσε τελικά την ύπαρξη γιγάντιων κυμάτων (Εικόνα 1.2). Αντίστοιχα δεδομένα στην θάλασσα της Ιαπωνίας (Yasuda and Mori 1997, Yasuda et al 1997) και στον κόλπο του Μεξικού (Guedes Soares et al 2004).



Εικόνα 1.2 Μέτρηση Draupner wave

Διαφορετικοί απλοποιημένοι ορισμοί για αυτά τα κύματα έχουν προταθεί στην βιβλιογραφία και χρησιμοποιούνται συνήθως. Συχνά εφαρμόζεται ο παράγοντας του μέγιστου ύψους κύματος:

$$HF = H_{\max} / H_s > 2$$

όπου H_{\max} είναι το μέγιστο ύψος κύματος και H_s είναι το σημαντικό ύψος κύματος. Το σημαντικό ύψος κύματος H_s αποτελεί το μέσο όρο του $1/3$ των υψηλών κυμάτων και υπολογίζεται συνήθως με βάση την τυπική απόκλιση καθώς $H_s = 4\sigma$ όπου σ είναι η τυπική απόκλιση ή εναλλακτικά η τετραγωνική ρίζα της μηδενικής στιγμής του κυματικού φάσματος (Rosenthal and Lehner, 2008).

Ένας άλλος αποδεκτός ορισμός χρησιμοποιεί το κριτήριο του μέγιστου συντελεστή κορυφής CF (Haver και Andersen, 2000) όπου C_{\max} είναι η μέγιστη κορυφή κύματος:

$$CF = C_{\max} / H_s > 1.2$$

Οι Tomita και Kawamura (2000) έχουν προτείνει την χρήση και των δυο κριτηρίων ταυτόχρονα ενώ οι Guedes Soares et al. (2004), ωστόσο υποστήριξαν ότι η χρήση του μέγιστου ύψους και της κορυφής μπορεί να μην είναι επαρκής.

Οι Klinting and Sand επίσης δίνουν τον ορισμό των γιγαντιαίων κυμάτων (freak waves) θεωρώντας ότι ένα τέτοιο κύμα πρέπει να υπακούει σε τρεις βασικούς κανόνες:

1. Το ύψος κύματος να είναι διπλάσιο από το σημαντικό ύψος κύματος
2. Το ύψος κύματος να είναι μεγαλύτερο κατά δυο φορές από το προηγούμενο και το επόμενο ύψος κύματος.
3. Το ύψος κορυφής να είναι μεγαλύτερο κατά 65% από το ύψος κύματος.

Με το πέρασμα του χρόνου οι τρεις συνθήκες έγιναν μια και η οποία χρησιμοποιήθηκε σαν ορισμός (Sand et al.1990).

Τέτοια ακραία φαινόμενα θεωρείται ότι έχουν προκαλέσει μια σειρά από θαλάσσια ατυχήματα με επακόλουθη ρύπανση των μεγάλων παράκτιων περιοχών, βλάβες πλοίων και ανθρώπινα θύματα (Kharif και Pelinovsky 2003, Dysthe et al 2008). Μια σειρά από μελέτες έχουν διεξαχθεί σε θεωρητικό, αριθμητικό και πειραματικό επίπεδο και με βάση τα δεδομένα πεδίου προκειμένου να μελετηθούν αναλυτικά (Kharif et al 2009, Gramstad, Trulsen, 2007, Mori et al., 2002, Onorato 2005, 2009β, Socquet-Juglard et al., 2005, Tamura et al, 2009, Toffoli et al, 2007, 2010, Waseda et al., 2009, 2011) (Εικόνα 1.3).



Εικόνα 1.3 Πειραματική προσομοίωση διαδικασίας δημιουργίας των γιγάντιων κυμάτων

Η εμφάνιση αυτών των κύμάτων στον ωκεανό δεν είναι ακόμα πλήρως αποκωδικοποιημένη και πολλές έρευνες έχουν αναζητήσει την απάντηση στα πλαίσια της μη γραμμικής θεωρίας ενός στενού εύρους συστήματος κυμάτων. Η εξέλιξη αυτών των κυμάτων μπορεί να περιγραφεί από τη μη γραμμική εξίσωση Schrodinger για τα κύματα των ωκεανών και αρχικά μελετήθηκε από τους Yuen και Lake (1982). Επεκτείνοντας τη μελέτη του Stokes από τους Benjamin και Feir (1967), αποδείχτηκε ότι η αστάθεια οδηγεί στον σχηματισμό μιας ομάδας κυμάτων. Στη δεκαετία του 1990, τα στοιχεία για αυτές τις ομάδες κυμάτων στον ανοιχτό ωκεανό παρέχονταν από πολλές παρατηρήσεις ραντάρ υπο χαμηλή γωνία (Poulter et al. 1994, Lamont-Smith et al. 2003, Tulin 2001). Η οπτική έχει αλλάξει με το πέρασμα των χρόνων και πολλοί μελετητές τώρα εξετάζουν την επίδραση του μη-συντονισμού.

Από την άλλη μεριά η θεωρία του διακριτού συστήματος κυμάτων (Benjamin-Feir instability) επεκτάθηκε για να περιγράψει την κατευθυντικότητα σε σχέση με την εξέλιξη του συστήματος από τους Alber και Safman (1978). Η θεωρία προτείνει ότι ο σχηματισμός της ομάδας κυμάτων γίνεται ασταθής μόνο για ένα στενό φάσμα. Η επίδραση του μη-συντονισμού έχει παραμεληθεί στην θεωρία του Hasselmann ενώ λαμβάνεται υπ όψιν στην εξίσωση του Zakharov (Hasselmann, K. 1962).

Ο Janssen (2003) κατέδειξε τη χρήση της εξίσωσης του Zakharov στη διόρθωση των στατιστικών (δηλαδή την κύρτωση) του συστήματος με μονή κατεύθυνση κυμάτων. Αυτό οδήγησε στην τροποποίηση της συμβατικής κατανομής Rayleigh του ύψους κύματος με την αύξηση της εμφάνισης κυμάτων που υπερβαίνουν το διπλάσιο του σημαντικού ύψους κύματος (Onorato et al. 2004, Mori και Janssen 2006).

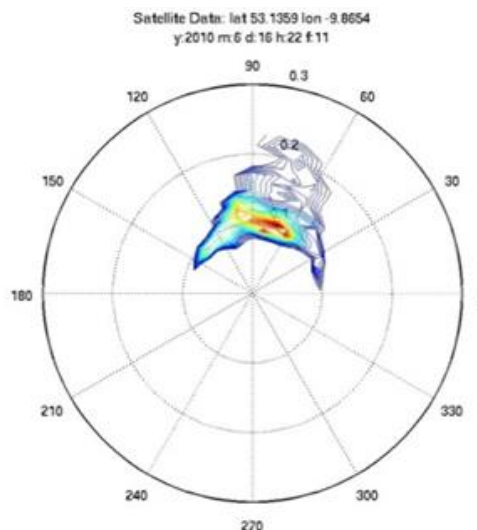
Η πρόβλεψη της εμφάνισης αυτών των κυμάτων είναι κάτι που ενδιαφέρει πάρα πολύ λόγω της επικινδυνότητας και των καταστροφών που προκαλούν σε θαλάσσιες κατασκευές και πλοία, γι' αυτό πάρα πολλές εταιρείες έχουν επενδύσει σε εσωτερικές ρυθμίσεις λαμβάνοντας πλέον υπόψιν τους τα rogue waves (ISSC 2013). Ο βασικός σκοπός είναι να βελτιωθεί η κατανόηση των φυσικών διεργασιών που είναι υπεύθυνες για τον σχηματισμό αυτών των κυμάτων καθώς και η ταυτοποίηση γεωφυσικών συνθηκών στις οποίες αυτά συνήθως εμφανίζονται. Παρ' όλες τις παραπάνω προσπάθειες που συνεισφέρουν σημαντικά στην μελέτη των ακραίων τιμών θαλάσσιου κυματισμού, πολλά ερωτήματα παραμένουν ακόμα αναπάντητα λόγω της συνθετότητας του προβλήματος.

§2. ΑΙΤΙΑ – ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ

2.1. ΑΙΤΙΑ

Οι αιτίες δημιουργίας ασυνήθιστα μεγάλων τιμών θαλάσσιου κυματισμού συνδέονται με πάρα πολλούς παράγοντες μεταξύ των οποίων ξεχωρίζουν:

- Η χωρική συγκέντρωση της κυματικής ενέργειας όπου επικεντρώνεται στα κύματα διαφορετικής κατεύθυνσης ή διαφορετικού μήκους κύματος τα οποία μπορεί να προκαλούνται από τα διάφορα βάθη της θάλασσας.
- Συμβολή κυμάτων σε συγκεκριμένες συχνότητες. Πιο απλά αν στο ίδιο σημείο του χώρου συναντηθούν ταυτόχρονα δύο κυματικές κορυφές ή δύο κυματικά ελάχιστα το αποτέλεσμα είναι διπλασιασμός του πλάτους της κορυφής ή των ελαχίστων (εικόνα 1.4).



Εικόνα 1.4 Συμβολή κυμάτων

- Η γραμμική συμβολή των κυμάτων είναι ακόμη μια βασική αιτία όπου σε αυτήν την περίπτωση το ύψος κύματος ακολουθεί την κατανομή Rayleigh (Longuet-Higgins 1952).
- Η αλληλεπίδραση κυμάτων-ρευμάτων όπως είναι η διάθλαση κυμάτων από κύματα τα οποία διαδίδονται σε διάφορα ρεύματα και τα οποία μπορούν να διαθλαστούν λόγω της συγκέντρωσης κυματικής ενέργειας (Mallory 1974), η μη γραμμικότητα που προκύπτει από τον συνδυασμό ρευμάτων καθώς και τυχαία κύματα τα οποία έρχονται αντιμέτωπα με αντίθετα ρεύματα (Toffoli 2015).
- Χρονική συγκέντρωση κυμάτων, όπου υπάρχει διασπορά κυμάτων με διαφορετικό μήκος και περίοδο, τα οποία διαδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες. Για παράδειγμα σε βαθιά νερά τα μεγάλα κύματα διαδίδονται γρηγορότερα από τα μικρότερα, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα κύματα διαφορετικής κλίμακας να προστίθενται το ένα στο άλλο οδηγώντας σε υπερσυγκέντρωση κυματικής ενέργειας σε μια τοποθεσία.
- Ένα από τα βασικά πρόκλησης αυτών των κυμάτων στην μη γραμμική θεώρηση που αναφέραμε προηγουμένως το οποίο δεν καλύπτει ούτε η γραμμική αλλά ούτε και η δευτέρας τάξης περιγραφή είναι η διαμορφούμενη αστάθεια (modulational instability) (Benjamin-Feir 1967). Ο όρος αναφέρεται σε μικρές διαταράξεις του κανονικού κύματος οι οποίες μπορούν να δημιουργήσουν απότομα κύματα. Πολλές λύσεις έχουν εξακριβωθεί με βάση αυτή την θεωρία καθώς επίσης έχουν επαληθευτεί σε πειράματα δεξαμενών κύματος (Chabchoub et al. 2011). Αρκετές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί (Onorato et al., 2009b., Socquet-Juglard et al., 2005, Tayfun και Fedele, 2007, Toffoli et al., 2007, 2008β, Toffoli και Bitner-Gregersen, 2011, Waseda et al., 2009) αποδεικνύουν ότι η αστάθεια είναι ικανή να ενισχύσει την πιθανότητα εμφάνισης ακραίων γεγονότων, αν τα κύματα είναι αρκετά απότομα.

Ο δείκτης BFI είναι αυτός που μας δείχνει την δύναμη της αστάθειας όπου $\Delta\omega$ είναι το φασματικό εύρος ζώνης ενώ το ω_c την συχνότητα αιχμής του φάσματος:

$$BFI = \varepsilon / (\Delta\omega / \omega_c) \quad (1.2.1)$$

Εναλλακτικός ορισμός του δείκτη είναι:

$$BFI = (k_c H_s / 2) / (\Delta\omega / \omega_c) \quad (1.2.2)$$

όπου $k_c H_s / 2$ είναι η κλίση του κύματος (k_c είναι ο κυματάριθμος στη φασματική κορυφή) και $\Delta\omega / \omega_c$ είναι το εύρος ζώνης του φάσματος των συχνοτήτων ($\Delta\omega$ είναι το μισό πλάτος στοήμισυ του μεγίστου του φάσματος και ω_c είναι η φασματική συχνότητα αιχμής) Onorato et al (2006).

- Μια άλλη αιτία δημιουργίας ακραίων τιμών θαλάσσιου κυματισμού στη μη-Γκαουσιανή θεωρία, θεωρεί ότι η πιθανότητα εμφάνισης των γιγαντιαίων κυμάτων διατυπώνεται σε μια χρονοσειρά του αριθμού των κυμάτων και της κύρτωσης της επιφάνειας ανύψωσης. Η πεπερασμένη κύρτωση δημιουργεί μια σημαντική ενίσχυση αυτών των κυμάτων σε σύγκριση με τη γραμμική θεωρία των κυμάτων περιορισμένης συχνότητας (narrow-banded). Για ένα σταθερό αριθμό κυμάτων, η εκτιμώμενη αναλογία ενίσχυσης των γιγαντιαίων κυμάτων λόγω της απόκλισης από την Gaussian θεωρία είναι 50-300%. Αρκετοί συγγραφείς έχουν επισημάνει ότι η κύρτωση, δηλαδή η τέταρτης τάξης ροπή της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας, μπορεί να θεωρηθεί ως κατάλληλη παράμετρος-αιτία για τον προσδιορισμό της παρουσίας αυτών των κυμάτων (Janssen, 2003, Mori και Janssen, 2006, Mori et al., 2011). Έχει επαληθευτεί τόσο θεωρητικά όσο και πειραματικά ότι η κύρτωση εξαρτάται από το τετράγωνο του δείκτη Benjamin-Feir (BFI), το οποίο είναι ένα μέτρο της μη γραμμικότητας και διασποράς.

Γενικότερα αξίζει να αναφερθούμε ότι τα κύματα αυτά μπορούν να συμβούν τόσο σε ρηχά όσο και σε βαθιά νερά όπως γνωρίζουμε. Σε ρηχά νερά για να δημιουργηθούν γιγάντια κύματα θα πρέπει το ύψος h να γίνει μικρότερο και μάλιστα περίπου στο μισό του μήκους κύματος. Τα κύματα σε ρηχά νερά είναι περισσότερο ασσύμμετρα με υψηλότερες κορυφές, ενώ δεν παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά που σημαίνει ότι διαδίδονται με την ίδια ταχύτητα. Εδώ η διαμορφούμενη αστάθεια (modulational instability) η οποία είναι η κύρια αιτία εμφάνισης αυτών των κυμάτων σε βαθιά νερά, εδώ γίνεται πιο αδύναμη σε ρηχά νερά. Μάλιστα το φαινόμενο αυτό (Benney and Roskes 1969) εξαφανίζεται όταν ισχύει η συνθήκη:

$$kh = 2\pi h/\lambda < 1.363. \quad (1.2.3)$$

Ένα άλλο χαρακτηριστικό σε ρηχά νερά είναι η ύπαρξη των σολιτονικών κυμάτων τα οποία διαδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς να αλλάξουν σχήμα. Αυτά μπορούν να περιγραφούν από τις εξισώσεις Korteweg de Vries (KdV) οι οποίες περιγράφουν την δυναμική των κυμάτων σε ρηχά νερά. Η αλληλεπίδραση αυτών των σολιτονικών κυμάτων έχει προταθεί σαν ένα πιθανό μηχανισμό δημιουργίας των γιγάντιων κυμάτων σε ρηχά νερά (Peterson et al. 2003).

2.2 ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ

Η πρόβλεψη στην εμφάνιση των ακραίων τιμών του θαλάσσιου κυματισμού είναι κάτι που ενδιαφέρει πάρα πολύ λόγω της επικινδυνότητας και των καταστροφών που προκαλούν σε θαλάσσιες κατασκευές και πλοία (Εικόνα 1.5). Πιο συγκεκριμένα έχουν καταγραφεί περιστατικά με απαρχή τις 11 Μαρτίου του 1861 όταν ένα γιγαντιαίο κύμα χτύπησε και προκάλεσε ζημιές σε ένα φάρο στο νησί Eagle της δυτικής Ιρλανδίας. Έκτοτε έχουν καταγραφεί δεκάδες ακόμα τέτοια περιστατικά ορισμένα απο τα οποία είχαν απώλειες ανθρώπινων ζωών. Εκτός από τα προαναφερθέντα, μελέτες έδειξαν ότι υπάρχουν εξίσου σημαντικές περιβαλλοντικές συνέπειες όπως επιπτώσεις στους πάγους του αρκτικού ωκεανού. Συνέπειες που μπορεί να προκληθούν από την εμφάνιση ακραίων τιμών θαλάσσιου κυματισμού:

- Απώλειες ανθρώπινων ζωών
- Καταστροφές σε θαλάσσιες κατασκευές
- Καταστροφές σε παράκτιες περιοχές και υποδομές
- Καταστροφές στη ναυσιπλοΐα
- Υποβάθμιση σε τουριστικές δραστηριότητες
- Οικολογικές επιπτώσεις



Εικόνα 1.5 Ναυάγιο πλοίου στις ακτές της Χιλής

Μερικά από τα καταγεγραμμένα περιστατικά εμφάνισης γιγαντιαίων κυμάτων παρατίθενται στη συνέχεια, όπου φαίνονται και ορισμένες από τις συνέπειές τους:

- Στις 11 Μαρτίου 1861 ένας φάρος στο νησί Eagle, στη δυτική ακτή της Ιρλανδίας χτυπήθηκε από ένα μεγάλο κύμα. Απο το γεγονός ότι καταγράφηκαν ζημιές στο ανώτατο τμήμα του φάρου συμπεραίνεται ότι το νερό θα πρέπει να ξεπέρασε τα 40 m.
- Στις 15 Δεκεμβρίου το 1900, τρεις φαροφύλακες εξαφανίστηκαν μυστηριωδώς από το φάρο στα νησιά Flannan στη Σκωτία κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας. Παρά το γεγονός ότι δεν υπήρχαν επιζώντες μάρτυρες, ένας γιγαντιαίο κύμα που έπληξε την δυτική πλευρά του νησιού, έχει υποθεθεί ότι είναι υπεύθυνο.
- Στις 10 Οκτωβρίου 1903 το βρετανικό κρουαζιερόπλοιο RMS Etruria ήταν μόνο τέσσερις ώρες μακριά από τη Νέα Υόρκη, όταν, στις 2:30 μ.μ. το χτύπησε ένα γιγαντιαίο κύμα. Το κύμα αναφέρθηκε να είναι τουλάχιστον 15 m. Ένας επιβάτης τραυματίστηκε θανάσιμα ενώ πολλοί άλλοι τραυματίστηκαν ελαφρά.
- Το πολυτελές ατμόπλοιο SS Waratah, ένα αυστραλιανό πλοίο 16.000 τόνων, εξαφανίστηκε χωρίς ίχνος νοτίως του Durban της Νότιας Αφρικής, τον Ιούλιο του 1909 με 211 επιβάτες και πλήρωμα. Δεν βρέθηκαν ούτε επιζώντες ούτε συντρίμια. Η πιο πιθανή θεωρία για την εξαφάνιση του είναι ότι αντιμετώπισε ένας γιγαντιαίο κύμα που το ανέτρεψε.
- Στις 7 Νοεμβρίου 1915 στις 2:27 πμ, το βρετανικό θωρηκτό HMS Albemarle υπέστη σοβαρές ζημιές κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας στο Pentland Firth, όταν δύο μεγάλα κύματα το χτύπησαν διαδοχικά. Πέντε άτομα από το πλήρωμα σκοτώθηκαν, και 17 άλλα τραυματίστηκαν σοβαρά.
- Τα μεσάνυχτα στις 5-6 Μαΐου 1916, το μικρό ιστιοφόρο James Caird στο Νότιο Ωκεανό κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας, συνάντησε ένα τεράστιο κύμα που έπληξε και σχεδόν πλημμυρίσε το σκάφος του.

- Στις 29 Αυγούστου 1916 το Αμερικανικό USS Μέμφις ναυάγησε στο Σάντο Ντομίνγκο (λιμάνι στη Δομινικανή Δημοκρατία), όταν χτυπήθηκε διαδοχικά από τρία κύματα των περίπου 20 μέτρων, προκαλώντας το θάνατο 40 ανθρώπων και τον τραυματισμό 204 άλλων.
- Το Φεβρουάριο του 1926 στο Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό, ένα τεράστιο κύμα χτύπησε το βρετανικό υπερωκεάνιο RMS Olympic , σπάζοντας τέσσερα από τα εννέα παράθυρα της γέφυρας.
- Το 1933 στο Βόρειο Ειρηνικό Ωκεανό, το πετρελαιοφόρο USS Ramapo, αντιμετώπισε ένα τεράστιο κύμα. Το πλήρωμα επιβεβαίωσε το ύψος του στα 34 m.
- Το 1934 στο Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό ένα τεράστιο κύμα έσπασε πάνω από τη γέφυρα του βρετανικού κρουαζιερόπλοιου RMS Majestic , τραυματίζοντας τους αξιωματικούς της γέφυρας.
- Το 1942, το Βρετανικό κρουαζιερόπλοιο RMS Queen Mary, κατά τη διάρκεια μιας θύελλας αντιμετώπισε γιγαντιαίο κύμα ύψους 28 m και σχεδόν ανατράπηκε.
- Το 1947, το πλήρωμα του Kon-Tiki ανέφερε ότι αντιμετώπισε τρία γιγαντιαία κύματα, παραδόξως σε ήρεμη μέρα. Ειπώθηκε ότι έμοιαζαν να έρχονται από το πουθενά.
- Το 1963, στις 5 Φεβρουαρίου, το Γαλλικό H Jeanne d'Arc , καταγράφηκε ότι αντιμετώπισε ένα γιγαντιαίο κύμα
- Το 1966, το Ιταλικό Michelangelo πορευόταν προς Νέα Υόρκη, όταν ένα γιγαντιαίο κύμα έσπασε ένα τζάμι στα 24 m ύψος και σκοτώθηκαν ένα μέλος του πληρώματος και δύο επιβάτες.
- Το Wilstar, ένα νορβηγικό δεξαμενόπλοιο, υπέστη σοβαρή βλάβη από ένα γιγαντιαίο κύμα το 1974.

- Το SS Edmund Fitzgerald ήταν ένα φορτηγό πλοίο που βυθίστηκε ξαφνικά κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας στις 10 Νοεμβρίου το 1975 . Το πλοίο βυθίστηκε χωρίς σήμα κινδύνου, περίπου 15 ναυτικά μίλια από την είσοδο του Whitefish Bay. Όλα τα 29 μέλη του πληρώματος έχασαν τη ζωή τους.
- Τον Οκτώβριο του 1977, στο δεξαμενόπλοιο MS Stolt Surf, στον Ειρηνικό Ωκεανό ο μηχανικός πήρε φωτογραφίες ενός κύματος μεγαλύτερου από το κατάστρωμα της γέφυρας (22 μ).
- Η φορτηγίδα MS München χάθηκε στη θάλασσα το 1978. Στις 12 Δεκεμβρίου 1978 έστειλε ένα μήνυμα από τα μέσα του Ατλαντικού Ωκεανού, αλλά οι διασώστες δεν βρήκαν παρά μόνο μερικά κομμάτια του. Το Δικαστήριο κατέληξε στο συμπέρασμα ότι «η κακοκαιρία είχε προκαλέσει ένα ασυνήθιστο γεγονός». Θεωρήθηκε ότι ένα μεγάλο κύμα χτύπησε το σκάφος και το βύθισε.
- Το MV Derbyshire, το οποίο βυθίστηκε ανοικτά της Ιαπωνίας το 1980, είναι το μεγαλύτερο βρετανικό πλοίο που χάθηκε ποτέ στη θάλασσα.
- Το Ocean Ranger βυθίστηκε στο Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό το 1981 όταν χτυπήθηκε από γιγαντιαίο κύμα.
- Το Fastnet Lighthouse χτυπήθηκε από 47m κύμα το 1985, στα ανοικτά της νότιας ακτής της Ιρλανδίας.
- Draupner wave (Βόρεια θάλασσα, 1995): Επιβεβαιώθηκε το πρώτο γιγαντιαίο κύμα με επιστημονικά στοιχεία, και είχε ύψος 25,6 μέτρα.
- RMS Queen Elizabeth 2 (Βόρειος Ατλαντικός, Σεπτέμβριος 1995). Παρατηρήθηκε 29 μέτρων κύμα, κατά τη διάρκεια του τυφώνα Luis στο Βόρειο Ατλαντικό.
- Το Φεβρουάριο του 2000, ένα βρετανικό ωκεανογραφικό ερευνητικό σκάφος, το RRS Discovery, δυτικά της Σκωτίας αντιμετώπισε τα μεγαλύτερα κύματα που έχουν καταγραφεί ποτέ από επιστημονικά όργανα, στον ανοιχτό ωκεανό, με 29,1 μέτρα ύψος.

- Στις 4 Νοεμβρίου του 2000, το ερευνητικό σκάφος R / V Ballena χτυπήθηκε από γιγαντιαίο κύμα και ανατράπηκε κοντά στην Καλιφόρνια.
- Τα κρουαζιερόπλοια MS Bremen και MS Caledonian Star αντιμετώπισαν 30 μέτρων γιγαντιαία κύματα στο Νότιο Ατλαντικό Ωκεανό το 2001. Τα παράθυρα της γέφυρας και στα δύο πλοία έσπασαν.
- Το Norwegian Dawn, αντιμετώπισε τρία διαδοχικά κύματα, ανοικτά των ακτών της Georgia, στις 16 Απριλίου του 2005 ύψους 21 μέτρων.
- Το Brittany Ferries χτυπήθηκε από ένα κύμα το οποίο εκτιμάται μεταξύ 12 με 15 μέτρων ύψος, κατά τη διάρκεια μιας θύελλας στο Βισκαϊκό Κόλπο στις 21 Μαΐου 2006.
- Την 1η Φεβρουαρίου 2007, το Holland America κρουαζιερόπλοιο, χτυπήθηκε από δύο 12 μέτρων γιγαντιαία κύματα, κοντά στο Cape Horn. Υπήρχαν περίπου 40 τραυματισμοί.
- 5 Φεβρουαρίου του 2008 το πλοίο Riverdance χτυπήθηκε από γιγαντιαίο κύμα στη Θάλασσα της Ιρλανδίας.
- 14 Απριλίου 2008, μισό ναυτικό μίλι μακριά από το Kleinbaai , στη Νότιο Αφρική ένα γιγαντιαίο κύμα χτύπησε τουρίστες σε κατάδυση. Το σκάφος τους ανατράπηκε. Τρεις τουρίστες έχασαν τη ζωή τους και δύο τραυματίστηκαν σοβαρά.
- Στις 4 Φεβρουαρίου του 2013, ένα κύμα 19 μέτρων καταγράφηκε από μια αυτοματοποιημένη σημαδούρα μεταξύ της Μεγάλης Βρετανίας και της Ισλανδίας.

§3. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ

3.1 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ

Για να ξεκινήσουμε τη συζήτησή μας, θα πρέπει να αναφερθούμε σε βασικά στοιχεία της κυματικής θεωρίας και της συγκεκριμένης ορολογίας για τα διάφορα μέρη ενός κύματος. Τα επιφανειακά κύματα στον ωκεανό είναι μετατοπίσεις της επιφάνειας της θάλασσας που ταλαντώνονται και συνήθως διαδίδονται κατά μήκος της επιφάνειας. Κάθε κύμα έχει ένα όρος (crest) και μία κοιλία (trough) και η οριζόντια απόσταση μεταξύ τους, είναι ένα μήκος κύματος. Η περίοδος είναι ο χρόνος που απαιτείται για να διανυθεί ένα μήκος κύματος. Η μετατόπιση της επιφάνειας της θάλασσας μπορεί να μετρηθείμε δύο τρόπους:

- Με το ύψος κύματος, το οποίο είναι η κάθετη απόσταση από το υψηλότερο σημείο της ταλάντωσης (crest) στο χαμηλότερο σημείο της ταλάντωσης (trough)
- Με το πλάτος του κύματος όπου είναι η κάθετη απόσταση από την θέση ισορροπίας μέχρι το υψηλότερο σημείο της ταλάντωσης. Το πλάτος κύματος είναι ίσο με το μισό του ύψους κύματος (Εικόνα 1.6).
- Ένα άλλο βασικό στοιχείο είναι το σημαντικό ύψος κύματος το οποίο είναι η μέση τιμή του ενός τρίτου των μεγαλύτερων υψών κύματος σε μια ακανόνιστη κατάσταση θάλασσας και υπολογίζεται ως:

$$H_{m_0} = 4\sqrt{m_0} = 4\sqrt{\int_0^{\infty} N(f) df} \quad (1.3.1)$$

Όπου $N(f)$ το ενεργειακό φάσμα του κυματισμού στη συχνότητα f και m_0 η στατική ροπή.

Πιο συγκεκριμένα το φάσμα N ικανοποιεί την παρακάτω δισδιάστατη κυματική εξίσωση:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{\cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} (N \dot{\phi} \cos \phi) + \frac{\partial}{\partial \lambda} (\dot{\lambda} N) + \frac{\partial}{\partial \theta} (\dot{\theta} N) = S \quad (1.3.2)$$

N = 2-διάστατο κυματικό φάσμα

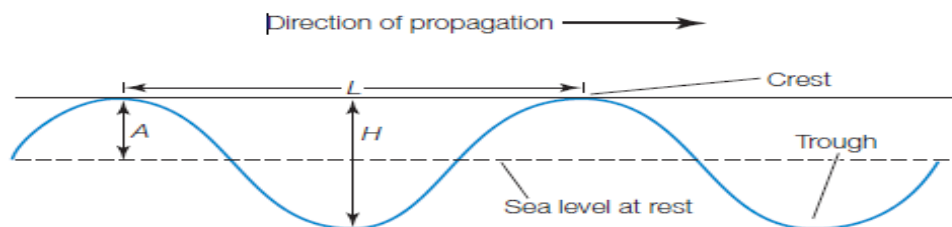
S = το άθροισμα των πηγών της κυματικής ενέργειας (wind forcing, dissipation, nonlinear transfer)

f = συχνότητα

θ = διεύθυνση

ϕ = το γεωγραφικό πλάτος

λ = το γεωγραφικό μήκος

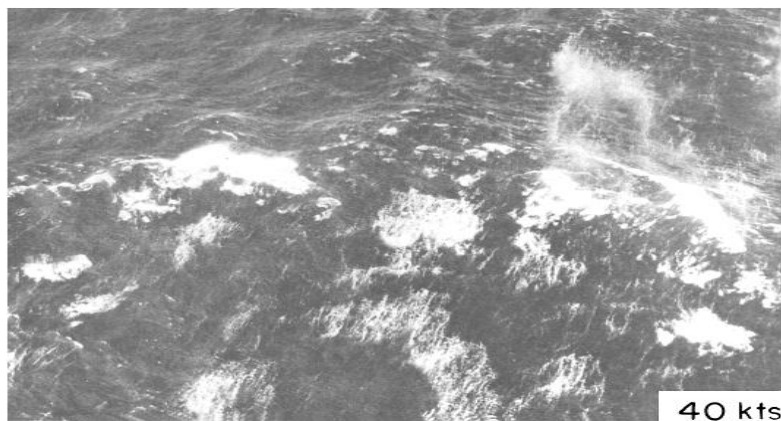


Εικόνα 1.6 Διάδοση κύματος

Παράγοντες που επηρεάζουν την δημιουργία και εξέλιξη του κύματος

Τοπικός άνεμος

Δημιουργεί κύματα βαρύτητας (gravity waves) τα οποία αποτελούνται από ημιτονοειδή κύματα που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Έχουν χαοτική εμφάνιση, με απότομες κορυφές, διαφορετικά ύψη, μικρές αποστάσεις μεταξύ των κορυφών και αποτελούνται από σύνθεση μικρότερων κυμάτων. Οι τοπικοί αυτοί άνεμοι είναι δυνατόν να δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα στη ναυσιπλοΐα. Για το λόγο αυτό όλοι οι πλοηγοί (βιβλία) περιλαμβάνουν τους επικρατούντες τοπικούς ανέμους των διαφόρων περιοχών του κόσμου προς άμεση ενημέρωση των ναυτιλομένων στις περιπτώσεις που θα προσεγγίσουν ή θα διαπλεύσουν τις περιοχές αυτών.



Εικόνα 1.7 Τοπικός άνεμος

Μεταφερόμενα κύματα (Swell)

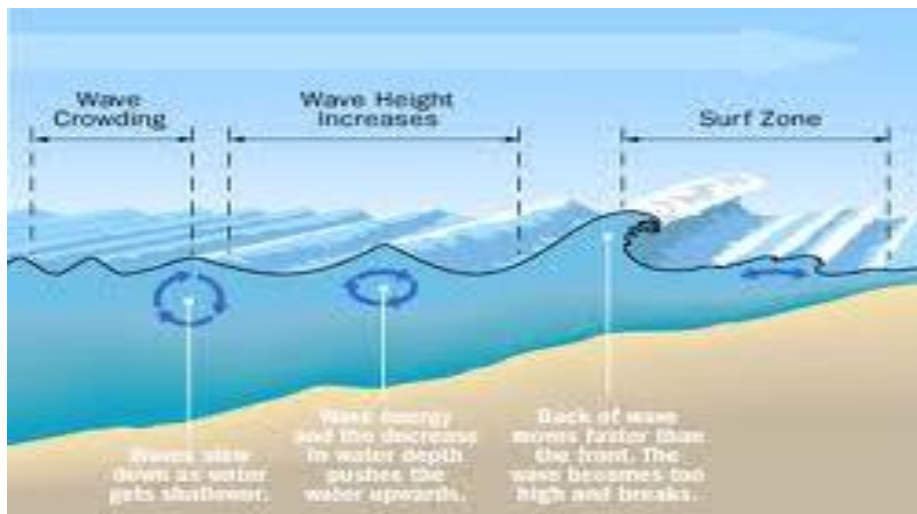
Καθώς η θάλασσα αναπτύσσεται, τα μεγαλύτερα μήκη κύματος κινούνται γρηγορότερα από τον άνεμο και έτσι χάνουν ενέργεια από την ατμόσφαιρα. Διαδίδονται μακριά από την περιοχή παραγωγής τους και διακρίνονται από τακτικά χωρισμένες ομαλές κορυφές, παρόμοιου ύψους, κινούνται σε μια κοινή κατεύθυνση και μπορούν να συνεχίσουν με αυτό τον τρόπο για μεγάλες χρονικές περιόδους. Οφείλεται στην αδράνεια της ήδη κινούμενης μάζας του ύδατος και μπορούν να ταξιδέψουν σε μεγάλες αποστάσεις, μέχρι και 2.000 μίλια εφόσον δεν συναντήσουν κάποιο εμπόδιο ή κάποιο αντίθετο άνεμο προκειμένου να ελαττώσουν τα στοιχεία του. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων μεταφερόμενων κυμάτων παρατηρούνται από Οκτώβριο μέχρι Μάρτιο στο νοτιοδυτικό άκρο της Σινικής Θάλασσας και κατά τον Δεκέμβριο στον κόλπο της Βεγγάλης. Τα μεταφερόμενα κύματα καταχωρούνται στα ημερολόγια γέφυρας των πλοίων ανάλογα του ύψους των σε «χαμηλά», «μέτρια» ή «υψηλά». Από μετεωρολογικής άποψης ελαμβάνονται ως υφιστάμενος κυματισμός του οποίου η διεύθυνση, το ύψος και η περίοδος καταχωρούνται χωριστά από εκείνων της κατάστασης θαλάσσης.



Εικόνα 1.8 Μεταφερόμενα κύματα

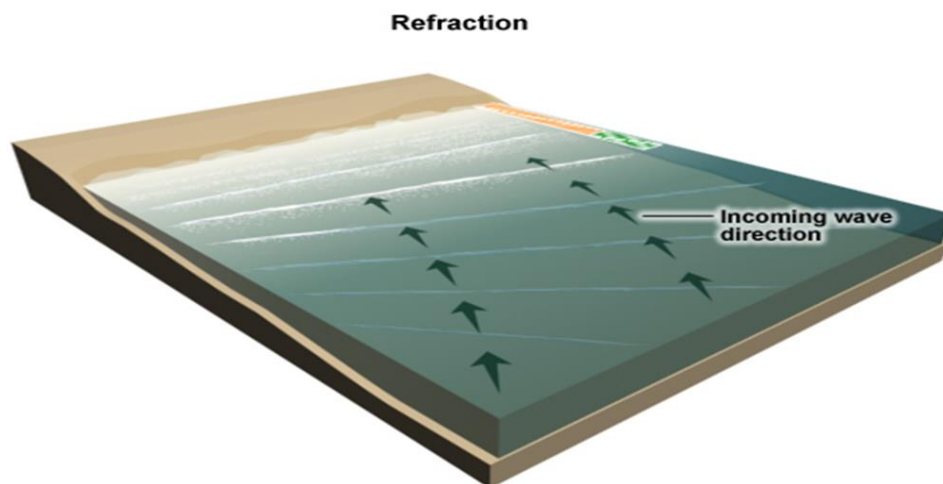
Μορφολογία του βυθού

Τα κύματα επηρεάζονται από την βαθυμετρία εκατοντάδες μέτρα μακριά από την ακτή. Τα μεγάλα ανεμογενή κύματα σπάνε κοντά στην ακτή ενώ νέα ανεμογενή κύματα μπορούν να μετασχηματιστούν επάνω από ρηχό βυθό.

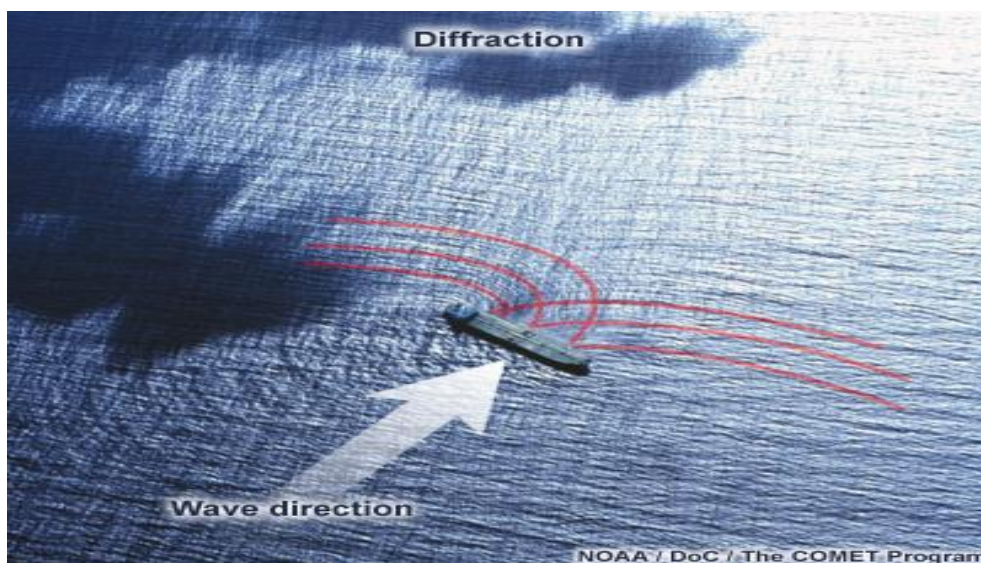


Εικόνα 1.9 Μορφολογία εδάφους

Όταν τα κύματα φθάνουν από μια κατεύθυνση κάθετη σε μια ευθεία παραλία, τότε το μέρος του κύματος που είναι σε μεγαλύτερο βάθος κινείται γρηγορότερα από αυτό που βρίσκεται πιο ρηχά οδηγώντας σε κάμψη στη διεύθυνση διάδοσής τους (διάθλαση - refraction). Σε περίπτωση που κάποιο αντικείμενο ή κατασκευή εμποδίσει τη διέλευση του κύματος τότε μεταφέρεται ενέργεια κατά μήκος της κορυφής του (εμποδισμός - diffraction).



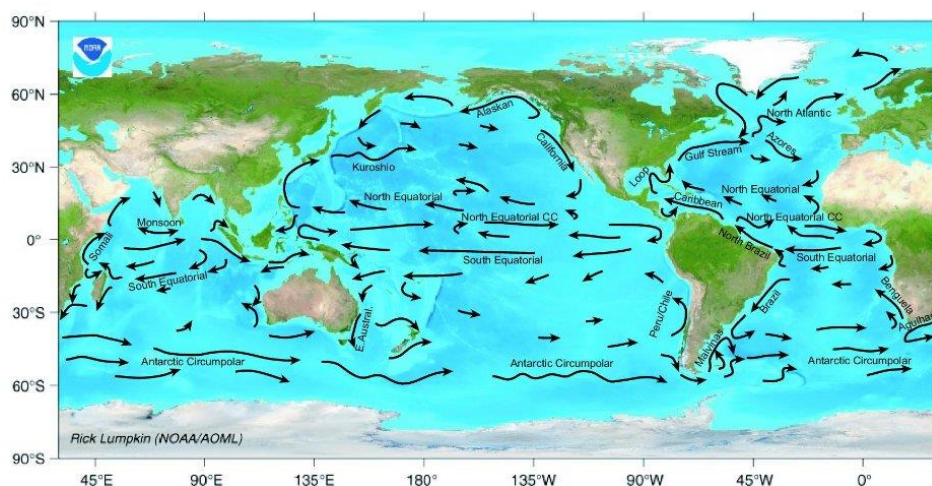
Εικόνα 1.10 Διάθλαση



Εικόνα 1.11 Εμποδισμός

Θαλάσσια ρεύματα

Τα ρεύματα στη θάλασσα (ωκεάνια κυκλοφορία) παράγονται γενικά από τον αέρα, την παλίρροια, τις διαφορές στην πυκνότητα μεταξύ των μαζών ύδατος, τις διαφορές στη στάθμη της θάλασσας ή την απορροή από την ξηρά (Εικόνα 1.12). Η ωκεάνια κυκλοφορία είναι συνήθως ισχυρότερη κοντά στην επιφάνεια και φτάνει μερικές φορές την ταχύτητα των πέντε κόμβων ή περισσότερο. Τα θαλάσσια ρεύματα είναι σημαντικά στη μελέτη των θαλάσσιων συντριμμάτων και αντιστρόφως. Επηρεάζουν επίσης τις θερμοκρασίες και το κλίμα σε όλο τον κόσμο. Η μελέτη κυματικών (αλλά και ατμοσφαιρικών) φαινομένων στηρίζεται σήμερα σε μεγάλο βαθμό στη χρήση αριθμητικών μοντέλων.



Εικόνα 1.12 Κυριότερα θαλάσσια ρεύματα (NOAA)

3.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ

Προσπαθώντας να μοντελοποιήσουμε τα αίτια των γιγάντιων κυμάτων, παρουσιάζουμε τις δυο βασικές προσεγγίσεις που έχουμε για τον παράγοντα της κύρτωσης:

- Η πρώτη βασίζεται στην προσέγγιση Janssen (Janssen 2003)
- Η δεύτερη βασίζεται στην θεωρία Zakharov (Zakharov 1968).

Φυσικά σε κάθε περίπτωση καταλήγουμε σε ένα βασικό κριτήριο εμφάνισης αυτών των κυμάτων. Επίσης παρουσιάζεται μαθηματική μοντελοποίηση κορυφής κυμάτων και πως αυτή επηρεάζει τη δημιουργία των γιγαντιαίων κυμάτων.

Με βάση τις παραπάνω προσεγγίσεις τα βασικά κριτήρια για το εάν ένα κύμα θεωρείται γιγάντιο χρησιμοποιώντας τον παράγοντα του μέγιστου ύψους κύματος είναι :

$$HF = H_{\max} / H_s > 2$$

όπου H_{\max} είναι η μέγιστο ύψος κύματος και H_s είναι το σημαντικό ύψος κύματος, (Rosenthal and Lehner, 2008).

Ένας άλλος κοινώς αποδεκτός ορισμός βασίζεται στο κριτήριο του μέγιστου συντελεστή κορυφής:

$$CF = C_{\max} / H_s > 1.2$$

(Haver και Andersen, 2000).

ΚΥΡΤΩΣΗ ΜΕ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ JANSSEN

Η θεωρητική προσέγγιση της αστάθειας του θαλάσσιου κυματισμού είναι μια διαδικασία συντονισμού και αλληλεπίδρασης όπου οι κυματαριθμοί και οι συχνότητες ακολουθούν τους παρακάτω περιορισμούς:

$$\vec{k}_1 + \vec{k}_2 - \vec{k}_3 - \vec{k}_4 = 0 \quad \text{and} \quad \omega(\vec{k}_1) + \omega(\vec{k}_2) - \omega(\vec{k}_3) - \omega(\vec{k}_4) \leq \epsilon^2, \quad (1.3.3)$$

Εδώ το ϵ είναι μια μικρή παράμετρος η οποία αντιστοιχεί στην κλίση σε βαθιά κύματα του νερού. Ειδικότερα, η αστάθεια λαμβάνει χώρα όταν οι δύο κυματαριθμοί είναι οι ίδιοι $k_1 = k_2$ και k_3 και k_4 είναι δύο πλευρικές ζώνες που διαχωρίζονται από k_1 με Δk , το οποίο θα πρέπει να είναι μικρό για να πληρεί την προϋπόθεση (1.3.3). Η πρότυπη κινητική εξίσωση που περιγράφει την εξέλιξη του φάσματος κύματος στο χρόνο, Hasselmann (1962), είναι έγκυρη μόνο για μεγάλες περιόδους και για ακριβείς συντονισμούς. Η επέκτασή της αλληλεπίδρασης έχει γίνει στο Janssen (2003) όπου μια κινητική εξίσωση, η οποία θα πρέπει για να είναι επίσης έγκυρη να ακολουθεί την χρονική κλίμακα της διαμορφούμενης αστάθειας που έχει προέλθει (Annekov και Shrira, 2006). Αν κάποιος τότε θεωρεί την περαιτέρω εξέλιξη υψηλότερων καταστάσεων, όπως η κύρτωση, αποδεικνύεται ότι οι αλληλεπιδράσεις είναι υπεύθυνες για αποκλίσεις από τις Gaussian τιμές. Στην εργασία Janssen (2003) η ρητή σχέση μεταξύ μη γραμμικών αλληλεπιδράσεων των ελεύθερων κύματων και της τέταρτης τάξης ροπή της φασματικής ενέργειας σε βαθιά ύδατα έχει ερευνηθεί. Τα αποτελέσματα είναι τα παρακάτω:

$$\begin{aligned} \kappa_{40} &= \frac{\langle \eta^4 \rangle}{m_0^2} - 3 \\ &= \frac{12}{g^2 m_0^2} \int d\vec{k}_{1,2,3,4} T_{1,2,3,4} \sqrt{\omega_1 \omega_2 \omega_3 \omega_4} \delta_{1+2-3-4} R_r(\Delta\omega, t) N_1 N_2 N_3 \end{aligned} \quad (1.3.4)$$

όπου κ_{40} είναι η τέταρτης τάξης ροπή της ανύψωσης της επιφάνειας (ισούνται με κύρτωση μείον 3), m_0 είναι η διακύμανση της κεκλιμένης επιφάνειας (μηδενικής τάξης ροπή), g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας, k είναι ο κύματαριθμός, ω είναι η γωνιακή συχνότητα, N είναι η πυκνότητα φασματικής δράσης των κυμάτων, $T_{1,2,3,4}$ είναι η σύζευξη συντελεστή στην εξίσωση Zakharov (Krasitskii (1994) για την αναλυτική του μορφή), $\delta_{1+2-3-4} = \delta(k_1 + k_2 - k_3 - k_4)$, $dk_{1,2,3,4} = dk_1 dk_2 dk_3 dk_4$ και $R_r = (1 - \cos(\Delta\omega t)) / \Delta\omega$ είναι η λειτουργία συντονισμού. Στο όριο των μεγάλων χρονικών ορίων $R \rightarrow P_r / \Delta\omega$, όπου $\Delta\omega = \omega_1 + \omega_2 - \omega_3 - \omega_4$ και P συμβολίζει την βασική αξία του ολοκληρώματος για την αποφυγή μοναδικότητας του.

Στην περιορισμένου συχνοτικού εύρους (narrowband) προσέγγιση υποθέτοντας ότι το φάσμα $E(\omega)$ έχει μια Gaussian μορφή ισχύει ότι:

$$E(\omega) = \frac{m_0}{\sigma_\omega \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\nu^2}, \quad (1.3.5)$$

όπου $\nu = (\omega - \omega_0) / \sigma_\omega$ και σ_ω είναι η φασματική ζώνη πλάτους, το ολοκλήρωμα για μεγάλους χρόνους γίνεται:

$$\kappa_{40} = \frac{24\epsilon^2}{\Delta^2} \mathcal{P} \int \frac{d\nu_{1,2,3}}{(2\pi)^{3/2}} \frac{e^{-\frac{1}{2}[\nu_1^2 + \nu_2^2 + \nu_3^2]}}{(\nu_1 + \nu_2 - \nu_3)^2 - \nu_1^2 - \nu_2^2 + \nu_3^2}, \quad (1.3.6)$$

όπου $e = \kappa_0(m_0)^{1/2}$ είναι η παράμετρος της κλίσης και $\Delta = \sigma_\omega / \omega_0$ είναι το σχετικό φασματικό εύρος ζώνης. Το ολοκλήρωμα μπορεί να αξιολογηθεί αναλυτικά :

$$\kappa_{40} = \frac{\pi}{\sqrt{3}} B F I^2 \quad (1.3.7)$$

$$BFI = \frac{\epsilon}{\Delta} \sqrt{2}. \quad (1.3.8)$$

Στην ουσία η εξίσωση (1.3.7) είναι μια απλοποιημένη εξίσωση της κύρτωσης της ανυψωμένης επιφάνειας υποθέτοντας μια στενή διέλευση ενός κύματος μονής κατεύθυνσης.

Η θεωρία για το ύψος κύματος περιγράφεται από τους Tayfun και Lo (1990), Mori και Yasuda (2002), Mori και Janssen(2006). Η προκύπτουσα κατανομή έχει ονομαστεί Modified Edgeworth Rayleigh (MER). Το ύψος MER κύματος και η υπέρβαση της κατανομής ύψους κύματος δίνεται από τους Mori και Janssen (2006):

$$\begin{aligned} p(H)dH &= \frac{1}{4} H e^{-\frac{1}{8}H^2} [1 + \kappa_{40}A_H(H)] dH, \\ P_H(H) &= e^{-\frac{1}{8}H^2} [1 + \kappa_{40}B_H(H)], \end{aligned} \quad (1.3.9)$$

όπου το H είναι το ύψος κύματος που έχει κανονικοποιηθεί από το $\eta_{rms} = \sqrt{m_0}$ και τα $A_H(H)$, $B_H(H)$ δίνονται από τις σχέσεις:

$$\begin{aligned} A_H(H) &= \frac{1}{384} (H^4 - 32H^2 + 128), \\ B_H(H) &= \frac{1}{384} H^2 (H^2 - 16). \end{aligned} \quad (1.3.10)$$

Αυτές οι κατανομές περιγράφουν την απόκλιση από τη γραμμική προσέγγιση υπό την υπόθεση μιας στενής ζώνης και ασθενών μη γραμμικών κυμάτων.

Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (3.2.7-3.2.8) η λειτουργία p_m κατανομής πιθανότητας και η πιθανότητα υπέρβασης P_m του μέγιστου ύψους κύματος μπορεί να δοθεί ως μία συνάρτηση της τέταρτης ροπής της επιφάνειας ανύψωσης, του κ_{40} (κύρτωση) και του αριθμού κυμάτων N που καταγράφονται στο τρέχων κύμα(wave train),

$$\begin{aligned} p_m(H_{max}) &= \frac{N}{4} H_{max} e^{-\frac{H_{max}^2}{8}} [1 + \kappa_{40}A_H(H_{max})] \\ &\quad \times \exp \left\{ -N e^{-\frac{H_{max}^2}{8}} [1 + \kappa_{40}B_H(H_{max})] \right\}, \\ P_m(H_{max}) &= 1 - \exp \left\{ -N e^{-\frac{H_{max}^2}{8}} [1 + \kappa_{40}B_H(H_{max})] \right\}, \end{aligned} \quad (1.3.11)$$

όπου H_{\max} είναι το μέγιστο ύψος κύματος που κανονικοποιείται με το η_{rms} . Στους Mori και Janssen (2006) γίνεται μια σύγκριση της θεωρητικής κατανομής ύψους κύματος με δεδομένα πεδίου και έχουν δείξει ποιοτική συμφωνία. Για $\kappa_{40} = 0$, τα αποτελέσματα είναι ταυτόσημα με αυτά που απορρέουν από την Rayleigh κατανομή. Σημειώστε ότι απλούστερες εκφράσεις για το ύψος κύματος και το μέγιστο ύψος κύματος διανομής μπορεί να ληφθούν με την κανονικοποίηση με το σημαντικό ύψος κύματος $H_s = 4 \eta_{rms} = \sqrt{m_0}$

Αν κάποιος ορίζει ένα γιγαντιαίο κύμα σαν ένα κύμα του οποίου το ύψος $H_{freak} \geq 2H_s$, παίρνουμε από τις παραπάνω εξισώσεις την ακόλουθη απλή φόρμουλα για να προβλέψουμε την πιθανότητα εμφάνισης ενός γιγαντιαίου κύματος (freak wave) ως συνάρτηση του N και κ_{40} ,

$$P_{freak} = 1 - \exp[-\beta N(1 + 8\kappa_{40})], \quad (1.3.12)$$

ΚΥΡΤΩΣΗ ΜΕ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΖΑΧΑΡΟΦ

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να διερευνηθεί η σχέση μεταξύ κύρτωσης και της πιθανότητας εμφάνισης των γιγαντιαίων κυμάτων μέσω μη γραμμικών αλληλεπιδράσεων τεσσάρων κυμάτων. Αφετηρία είναι η εξίσωση Ζαχάροφ (Zakharov, 1968), η οποία είναι μια αιτιοκρατική μη γραμμική εξίσωση της εξίσωσης για τα επιφανειακά κύματα βαρύτητας σε βαθιά νερά. Ας εξετάσουμε τη δυνατότητα ροής ενός ιδανικού ρευστού σε άπειρο βάθος. Οι συντεταγμένες επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε η αδιατάρακτη επιφάνεια του υγρού να συμπίπτει με το επίπεδο X-Y. Ο άξονας z είναι στραμμένος προς τα πάνω, και η επιτάχυνση της βαρύτητας g είναι στραμμένη στην αρνητική z κατεύθυνση. Η επιφάνεια ανύψωσης η μπορεί να γραφτεί σε όρους της επέκτασης Fourier ως:

$$\eta = \int_{-\infty}^{\infty} dk [a(k) + a^*(-k)] e^{ikx}, \quad (1.3.13)$$

όπου $a(k, t) = \sqrt{(\omega/2g)} B(k, t)$ και B (k, t) είναι η κανονική μεταβλητή. Εδώ, **k** είναι ο κυματάρριθμος και k είναι η απόλυτη τιμή του, ω είναι η τετραγωνική ρίζα του gk που υποδηλώνει τη σχέση διασποράς σε βαθιά ύδατα, των κυμάτων βαρύτητας.

Για την εξάλειψη των συνεπειών του δεσμευμένου κύματος, εφαρμόζεται στο B ένα κανονικό μετασχηματισμό του τύπου:

$$B = B(b, b^*) \quad (1.3.14)$$

όπου b είναι η κανονική μεταβλητή των ελεύθερων κυμάτων βαρύτητας.

Η εξίσωση εξέλιξης για το b, η οποία ονομάζεται Ζαχάροφ εξίσωση, γίνεται:

$$\frac{\partial b_1}{\partial t} + i\omega_1 b_1 = -i \int dk_{2,3,4} T_{1,2,3,4} b_2^* b_3 b_4 \delta_{1+2-3-4}, \quad (1.3.15)$$

όπου, για λόγους συντομίας, έχουμε εισαγάγει το συμβολισμό $b_1 = b(k_1)$, και ούτω καθεξής, και η μη γραμμική συνάρτηση μεταφοράς $T_{1,2,3,4}$ όπως διαπιστώθηκε από Krasitskii (1990). Ο Janssen (2003) απέδειξε ότι, στο πλαίσιο της έκδοσης της εξίσωσης Ζαχάρου σε βαθιά ύδατα, τα επιφανειακά κύματα βαρύτητας παράγονται από μη γραμμική εστίαση σε ένα τυχαίο πεδίο κύματος. Αυτή η διαδικασία προκαλεί επίσης την Benjamin-Feir αστάθεια ενός ενιαίου κύματος. Ωστόσο, όταν πρόκειται για ρηχά νερά, το αποτέλεσμα της μη γραμμικής εστίασης μειώνεται σημαντικά.

Τα A και φ είναι αργά μεταβαλλόμενες εξισώσεις στο χώρο και στο χρόνο για ένα περιορισμένου εύρους συχνοτήτων (narrow-banded) κύμα και προσδιορίζονται από:

$$\frac{1}{2} A e^{i\phi} = \int_{-\infty}^{\infty} d\mathbf{k} a e^{i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x}};$$

$$\eta = A \cos\phi, \quad (1.3.16)$$

$$\mu_2 = \langle \eta^2 \rangle = m_0. \quad (1.3.17)$$

Σύμφωνα με τον Janssen (2003) και λαμβάνοντας υπόψη την πυκνότητας δράσης N και την μη γραμμική συνάρτηση μεταφοράς $T_{1,2,3,4}$ το αποτέλεσμα της κύρωσης είναι:

$$\begin{aligned} \kappa_{40} &= \frac{\langle \eta^4 \rangle}{m_0^2} - 3 \\ &= \mu_4 - 3 \\ &= \frac{12}{g^2 m_0^2} \int d\mathbf{k}_{1,2,3,4} T_{1,2,3,4} \sqrt{\omega_1 \omega_2 \omega_3 \omega_4} \delta_{1+2-3-4} \\ &\quad \times R_r(\Delta\omega, t) N_1 N_2 N_3, \end{aligned} \quad (1.3.18)$$

όπου κ_{40} είναι τέταρτης τάξης ροπή της επιφάνειας ανύψωσης η , και το μ_4 είναι η τέταρτης τάξης όρος της κύρωσης της επιφάνειας ανύψωσης.

Σε πρακτικές εφαρμογές το φάσμα συχνότητας είναι αυτό που χρησιμοποιείται ευρέως και όχι η πυκνότητα δράσης. Ορίζουμε το φάσμα του κυματάριθμου ως:

$$F(\mathbf{k}) = \frac{\omega}{g} N(\mathbf{k}) \quad (1.3.19)$$

το φάσμα συχνότητας ως:

$$E(\omega, \theta) d\omega d\theta = F(\mathbf{k}) d\mathbf{k}. \quad (1.3.20)$$

Στη συνέχεια παίρνουμε για μεγάλο χρονικό διάστημα την ακόλουθη σχέση μεταξύ κ_{40} και της συχνότητας φάσματος:

$$\kappa_{40} = \frac{12g}{m_0^2} \mathcal{P} \int d\theta_{1,2,3} d\omega_{1,2,3} T_{1,2,3,4} \sqrt{\frac{\omega_4}{\omega_1 \omega_2 \omega_3}} \frac{E_1 E_2 E_3}{\Delta\omega} \quad (1.3.21)$$

όπου $\omega_4 = \sqrt{g|\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 - \mathbf{k}_3|}$

Η παραπάνω εξίσωση ισχύει για αυθαίρετες δύο διαστάσεων συχνότητες φάσματος.

Για να μετρηθεί η σχετική σημασία της μη γραμμικότητας ο Janssen (2003) εισήγαγε τον Benjamin-Feir δείκτη BFI, που ορίζεται ως:

$$\text{BFI} = \frac{\epsilon}{\Delta} \sqrt{2}. \quad (1.3.22)$$

Ο συντελεστής $\sqrt{2}$ περιλαμβάνεται για ιστορικούς λόγους καθώς σύμφωνα με τους Alber και Saffman (1978) ένα τυχαίο κύμα γίνεται ασταθές εάν $\text{BFI} > 1$.

Επίσης ισχύει η σχέση:

$$\kappa_{40} = \frac{\pi}{\sqrt{3}} \text{BFI}^2. \quad (1.3.23)$$

Υποθέτουμε ότι τα κύματα που θα αναλυθούν εδώ είναι μονής κατεύθυνσης με περιορισμένου εύρους συχνοτήτων (narrow-banded) φάσματα. Ας ορίσουμε ως $\eta(t)$ την επιφάνεια ανύψωσης ως συνάρτηση του χρόνου και $\zeta(t)$ είναι μια βοηθητική μεταβλητή έτσι ώστε $\eta(t)$ και $\zeta(t)$ να μην συσχετίζονται.

Υποθέτοντας ότι $\eta(t)$ και $\zeta(t)$ είναι πραγματικές με μηδενικό μέσο όρο εξισώσεις, με διακύμανση σ , έχουμε:

$$Z(t) = \eta(t) + i\zeta(t) = A(t)e^{i\phi(t)}, \quad (1.3.24)$$

$$A(t) = \sqrt{\eta^2(t) + \zeta^2(t)}, \quad (1.3.25)$$

$$\phi(t) = \tan^{-1} \left[\frac{\zeta(t)}{\eta(t)} \right], \quad (1.3.26)$$

Οι Mori και Yasuda (2002) ερεύνησαν την κατανομή του ύψους κύματος ως συνάρτηση της κύρωσης και της ασυμμετρίας χρησιμοποιώντας την κοινή συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $\eta(t)$ και $\zeta(t)$ για ένα ασθενώς μη γραμμικό κύμα. Υπ' αυτές τις συνθήκες, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της ανύψωσης επιφάνειας μπορεί να περιγραφεί από την Edgeworth κατανομή. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της $\eta(t)$ και της $\zeta(t)$, η από κοινού συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$p(\eta, \zeta) = \frac{1}{2\pi} \exp\left[-\frac{1}{2}(\eta^2 + \zeta^2)\right] \left[1 + \frac{1}{3!} \sum_{n=0}^3 \frac{3!}{(3-n)!n!} \kappa_{(3-n)n} H_{3-n}(\eta) H_n(\zeta) + \frac{1}{4!} \sum_{n=0}^4 \frac{4!}{(4-n)!n!} \kappa_{(4-n)n} H_{4-n}(\eta) H_n(\zeta)\right] \quad (1.3.27)$$

όπου H_n είναι το n -τάξης Hermite πολυώνυμο:

$$H_n(x) = (-1)^n \exp\left(+\frac{1}{2}x^2\right) \frac{d^n}{dx^n} \exp\left(-\frac{1}{2}x^2\right) \quad (1.3.28)$$

$$\zeta = A \sin\phi,$$

Στην περιορισμένου εύρους συχνοτήτων (narrow-banded) προσέγγιση το ύψος H είναι ίσο με $2A$ και ως εκ τούτου η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του ύψους κύματος γίνεται

$$p(H) = \frac{1}{4} H e^{-(1/8)H^2} [1 + \kappa_{40} A_H(H)], \quad (1.3.29)$$

$$A_H(H) = \frac{1}{384} (H^4 - 32H^2 + 128). \quad (1.3.30)$$

Η πιθανότητα υπέρβασης του ύψους κύματος είναι $P(H)$ (Goda, 2000). Επομένως έχουμε,

$$p_m(H_{\max}) dH_{\max} = N [1 - P(H_{\max})]^{N-1} p(H_{\max}) dH_{\max}, \quad (1.3.31)$$

όπου N είναι ο αριθμός των κυμάτων. Φυσικά για αρκετά μεγάλα N μπορούμε να χρησιμοποιούμε την προσέγγιση

$$\lim_{N \rightarrow \infty} [1 - P(H_{\max})]^N \simeq \lim_{N \rightarrow \infty} \exp[-NP(H_{\max})]. \quad (1.3.32)$$

και η πιθανότητα υπέρβασης της μέγιστου ύψους κύματος είναι

$$P_m(H_{\max}) = 1 - \exp\{-Ne^{-(H_{\max}^2/8)}[1 + \kappa_{40}B_H(H_{\max})]\}. \quad (1.3.33)$$

Για $\kappa_{40} = 0$, τα αποτελέσματα είναι ταυτόσημα με αυτά που απορρέουν από την κατανομή Rayleigh. Για λόγους απλότητας θα υποτεθεί ότι $H_{1/3} = 4m_0^{1/2}$ και η συνθήκη στην παρούσα μελέτη είναι:

$$H_{\max}/m_0^{1/2} > 8 \quad (1.3.34)$$

Η ακόλουθη απλή φόρμουλα προβλέπει την πιθανότητα εμφάνισης ενός freak κύματος ως συνάρτηση του N και του κ_{40} :

$$P_{\text{freak}} = 1 - \exp[-\beta N(1 + 8\kappa_{40})], \quad (1.3.35)$$

όπου $\beta = e^{-8}$ είναι μια σταθερά. Η αναλογία R της πιθανότητας πρόβλεψης από την παρούσα προσέγγιση και την θεωρία Rayleigh ως συνάρτηση της κύρτωσης μ_4 :

$$R_{\text{nonlinear}} = \frac{P_{\text{freak}}}{P_{\text{freak}|\kappa_{40}=0}} - 1. \quad (1.3.36)$$

Για την περίπτωση ενός μικρού αριθμού των κυμάτων, όπου $N < 250$, η αναλογία R εξαρτάται γραμμικά από την κύρτωση μ_4 . Εάν μ_4 είναι 3.1 και $N < 500$, η πιθανότητα εμφάνισης γιγάντιων κυμάτων είναι 50% περισσότερο από ό,τι σύμφωνα με γραμμική θεωρία. Απο την άλλη πλευρά η αύξηση του R μειώνεται καθώς ο αριθμός των κυμάτων αυξάνεται.

ΚΟΡΥΦΗ ΚΥΜΑΤΟΣ

Μια συνολική ανάλυση και σύγκριση των στατιστικών των πειραματικών και αριθμητικών δεδομένων παρουσιάζεται στο Toffoli et al. (2010). Εδώ μπορούμε να εκτελέσουμε μια πιο λεπτομερή στατιστική ανάλυσή με προσαρμογή των δεδομένων με μια 2-παράμετρο κατανομή Weibull:

$$F(c_T) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{c_T}{\alpha}\right)^\beta\right], \quad (1.3.37)$$

Όπου α είναι μια παράμετρος κλίμακας και β εκφράζει μια παράμετρο κλίσης. Επαληθεύεται ότι η δύο παραμέτρων Weibull κατανομή $F(c_T)$ είναι αποδεκτή προσέγγιση της κατανομής κύματος κορυφής υποθέτοντας ότι οι κορυφές των κυμάτων είναι ανεξάρτητα γεγονότα, η ακραία βραχυπρόθεσμη κατανομή κορυφών $F_{ES}(c_T)$ για μια συγκεκριμένη κατάσταση της θάλασσας διάρκειας (τ) ορίζεται ως (Gumbel, 1958)

$$F_{ES}(c_T) = \left[1 - \exp\left[-\left(\frac{c_T}{\alpha}\right)^\beta\right]\right]^n, \quad (1.3.38)$$

όπου n δηλώνει τον αριθμό των αναμενόμενων κορυφογραμμών σε μια τ -hour χρονική περίοδο.

Συχνά, τα ειδικά χαρακτηριστικά της ακραίας μη-διαστάσεων κατανομής κορυφών (1.3.38) παρουσιάζουν ενδιαφέρον σε εφαρμογές σχεδιασμού όπως τη μέση τιμή, τη διάμεσο ή τη χαρακτηριστική μεγαλύτερη αξία (c_c). Το τελευταίο μπορεί να υπολογιστεί από την 2-παράμετρο κατανομή Weibull (1.3.37) (Gumbel, 1958):

$$F(c_c) = 1 - \frac{1}{n} \quad (1.3.39)$$

ή για μεγάλα n , ισοδύναμα που προέρχεται από την Εξ. (1.3.38):

$$F_{ES}(c_c) = F(c_c)^n = \left(1 - \frac{1}{n}\right)^n \approx \frac{1}{e}. \quad (1.3.40)$$

Σημειώνεται ότι για ένα μεγάλο αριθμό παρατηρήσεων κορυφών, η κατανομή στην Εξ. (1.3.38) γίνεται περίπου σαν την Gumbel διανομή. Πιο βολικό, ιδιαίτερα για τις εφαρμογές, είναι να εκφράσουμε την χαρακτηριστική μεγαλύτερη αξία των μη διαστάσεων κορυφών κυμάτων (non-dimensional wave crest), όπως ορίζεται από την Εξ. (1.3.39) από τις παραμέτρους α και β Weibull της κατανομής (1.3.37):

$$c_e = \alpha [\ln(n)]^{1/\beta}. \quad (1.3.41)$$

Να σημειωθεί ότι η μέση τιμή μπορεί επίσης να εκφραστεί από τις Weibull παραμέτρους

$$c_m = \alpha \left[-\ln(1 - 0.5^{1/n}) \right]^{1/\beta}. \quad (1.3.42)$$

Τονίζεται το γεγονός ότι οι ακραίες τιμές που δίνονται από τις Εξ.(1.3.41) και (1.3.42) εξαρτώνται από τη διάρκεια της θαλάσσιας κατάστασης μέσω του αριθμού των αποτελεσμάτων n . Ένα απλοποιημένο μοντέλο έχει εγκριθεί και η πιθανότητα εμφάνισης ενός γιγάντιου κύματος σε μια τυχαία θάλασσα κατάσταση δεδομένου της διάρκειας αυτής υπολογίζεται από:

$$P(c_t > \zeta) = P \left[\alpha_N, \eta^{(2)}(H_s, T_Z, d) > c_e \right], \quad (1.3.43)$$

όπου ζ υποδηλώνει μια συγκεκριμένη αναλογία c/H_s , $c_e = \zeta H_s$ είναι η κορυφή του γιγαντιαίου κύματος είναι η δεύτερη σειρά ανενόχλητη (undisturbed) τοπική ανύψωση της επιφάνειας (ακραία κορυφή για μια δεδομένη διάρκεια θαλάσσιας κατάστασης) όπως δίνεται από την Forristall (2000) κατανομή, α_N είναι ένας παράγοντας διόρθωσης λόγω της αύξησης των επιπτώσεων, T_Z δηλώνει την αποκαλούμενη zero-crossing κυματική περίοδο, ενώ d είναι το βάθος του νερού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΑΚΡΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ

§1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ

Στην παρούσα ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλοι δείκτες της θεωρίας οι οποίοι θα χρησιμοποιηθούν και παρακάτω στον κώδικα στο Matlab που αναπτύχθηκε για την εξαγωγή των συμπερασμάτων. Οι δείκτες αυτοί θα εφαρμοστούν σε ετήσια δεδομένα για επτά σημεία τα οποία παρουσιάζονται στην συνέχεια της εργασίας. Οι δείκτες που επιλέχθηκαν είναι:

- $HF = H_{\max} / H_s > 2$

Όπου H_{\max} είναι η μέγιστο ύψος κύματος και H_s είναι το σημαντικό ύψος κύματος, το οποίο στον κώδικα αναφέρεται ως κριτήριο 1 (kritirio1).

- P_{freak1}

Είναι η πιθανότητα εμφάνισης των γιγαντιαίων κυμάτων σύμφωνα με τη σχέση:

$$P_{freak} = 1 - \exp[-\beta N(1 + 8\kappa_{40})], \quad (2.1.1)$$

Όπου N είναι ο αριθμός των κυμάτων (N στον κώδικα) που έχουμε υπολογίσει από την μέση συχνότητα (mean frequency: MEANFR) η οποία μας δίνεται στα δεδομένα μας, ενώ το κ_{40} είναι η κύρτωση και στα δεδομένα μας αναφέρεται ως C4G.

- **Pfreak2**

Είναι η πιθανότητα εμφάνισης των γιγαντιαίων κυμάτων σύμφωνα με τη σχέση:

$$P_{\text{freak}} = 1 - \exp[-\beta N(1 + 8\kappa_{40})], \quad (2.1.2)$$

Όπου N είναι ο αριθμός των κυμάτων (NN στον κώδικα) που έχουμε υπολογίσει από την ακραία συχνότητα (peak frequency PKFR) η οποία μας δίνεται στα δεδομένα μας, ενώ το κ_{40} είναι η κύρτωση και στα δεδομένα μας αναφέρεται ως C4G.

- **QPG (spectral peakdness)**

Ο δείκτης είναι ένα μέτρο της κυρτότητας της φασματικής κατανομής δηλαδή μας δίνει το βαθμό συγκέντρωσης της φασματικής ανάλυσης.

§2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΩΔΙΚΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο ακολουθήσαμε μια πειραματική διαδικασία με συγκεκριμένα κριτήρια για συγκεκριμένα σημεία του Ελλαδικού χώρου. Η ανάλυση έγινε κυρίως με την χρήση του Matlab. Το Matlab επιλέχθηκε γιατί είναι μία γλώσσα προγραμματισμού με πολλά εξειδικευμένα εργαλεία ώστε να κάνει τη μελέτη μας ευκολότερη. Είναι στην ουσία ένας βελτιστοποιημένος κώδικας για διεξαγωγή υπολογισμών με πίνακες και χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη εφαρμογών και ταυτόχρονα λογισμικού υλοποίησης επιστημονικών υπολογισμών.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία μας αναλύονται παρακάτω:

```
M = month
D = Day
H = Hour
LON = Longitude
LAT = Latitude
Forecasted Parameters :
SWHT = Significant Wave Height in m
MEANWDIR = Mean Wave Direction in deg (meteorological convention)
PKFR = Peak Frequency in Hz
MEANFR = Mean Frequency in Hz
USTAR = Friction Velocity in m/sec
WINDDIR = Wind Direction in deg
CDG = Drag Coefficient
WINSR = Wind Speed at 10m in m/sec
DEPTH = Model Bathymetry in m
MAXWH = Maximum Wave Height in m
MAXWP = Maximum Wave Period in sec
MWP1G = Mean Wave Period 1 in sec
MWP2G = Mean Wave Period 2 in sec
WSPRDG = DIRECTIONAL SPREAD
C4G = SPECTRAL KURTOSIS
BFG = BENJAMIN-FEIR INDEX
QPG = SPECTRAL PEAKEDNESS
```

Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε και μας βοήθησε στην διεξαγωγή των κατάλληλων κριτηρίων για την εμφάνιση ή μη των γιγαντιαίων κυμάτων αναλύεται παρακάτω:

```
A = xlsread('results_20_39.xls');
```

Με την εντολή αυτή φορτώνουμε το αρχείο μας με τα ετήσια δεδομένα τα οποία παρουσιάζονται σε πίνακα A. Στο συγκεκριμένο έχουμε το results_20_39.

```
for j=1:1:length(A)  
    MAXWH(j,1)=A(j,16);  
    SHWT(j,1)=A(j,7);  
    MEANFR(j,1)=A(j,10);  
    PKFR(j,1)=A(j,9);  
    C4G(j,1)=A(j,21);  
    QPG(j,1)=A(j,23);  
End
```

Στις συγκεκριμένες εντολές το πρόγραμμα αποκόπτει τις στήλες του πίνακα A και τις ονομάζει ανάλογα με το τι είναι η κάθε μια.

```
kritirio1= zeros(length(MAXWH),1);  
QPGb1=zeros(1,1);  
avrQPGA1=zeros(1,1);  
avrQPGA2=zeros(1,1);  
avrQPGb2=zeros(1,1);  
avrA1=zeros(1,1);  
avrA2=zeros(1,1);  
avrB1=zeros(1,1);  
avrB2=zeros(1,1);  
avrkritirioA1=zeros(1,1);  
avrkritirioA2=zeros(1,1);  
avrkritirioB1=zeros(1,1);  
avrkritirioB2=zeros(1,1);  
A1=zeros(1,1);  
A2=zeros(1,1);  
B1=zeros(1,1);  
B2=zeros(1,1);  
kritirioA1=zeros(1,1);  
kritirioA2=zeros(1,1);  
kritirioB1=zeros(1,1);  
kritirioB2=zeros(1,1);
```

Δημιουργούνται όλοι οι πίνακες για όλες τις μεταβλητές που θα χρειαστούν

```
for i=1:1:length(MAXWH)
if MAXWH(i,1)/SHWT(i,1)>2
kritiriol(i,1)=1;
end
end
```

Εδώ ελέγχεται εάν ο λόγος του μέγιστου ύψους κύματος προς το σημαντικό ύψος κύματος ξεπερνά την τιμή 2, τότε παίρνει την τιμή 1 αλλιώς 0.

```
for j=1:1:length(MEANFR)
N(j,1)= MEANFR(j,1)*3600;
End
```

Υπολογισμός του αριθμού κυμάτων N μέσω της μέσης συχνότητας επί τον χρόνο σε δευτερόλεπτα.

```
for j=1:1:length(PKFR)
NN(j,1)= PKFR(j,1)*3600;
end
```

Υπολογισμός του αριθμού κυμάτων NN μέσω της ακραίας συχνότητας επί τον χρόνο σε δευτερόλεπτα.

```
for j=1:1:length(C4G)
Pfreak1(j,1)=1-exp(-(exp(-8)).*N(j,1).*(1+(8.*C4G(j,1)))));
End
```

Υπολογισμός της πιθανότητας εμφάνισης freak waves με βάση των αριθμό κυμάτων N που υπολογίστηκε προηγουμένως.

```
for j=1:1:length(C4G)
Pfreak2(j,1)=1-exp(-(exp(-8)).*NN(j,1).*(1+(8.*C4G(j,1)))));
End
```

Υπολογισμός της πιθανότητας εμφάνισης freak waves με βάση των αριθμό κυμάτων NN που υπολογίστηκε προηγουμένως.

```
avgkritirio1= mean(kritirio1);  
avgPfreak1= mean(Pfreak1);  
avgPfreak2= mean(Pfreak2);  
avgQPG= mean(QPG);
```

Σε αυτό το σημείο υπολογίζουμε τις μέσες τιμές των μεταβλητών.

```
limit1=0.1;  
limit2=0.1;  
for q=1:1:9  
    J1=1;  
    J2=1;  
    j1=1;  
    j2=1;  
    limit1=limit1+0.05;  
    limit2=limit2+0.05;  
    FINAL(q+1,1)=limit1;  
    FINAL(q+1,2)=limit2;  
    for i=1:1:length(Pfreak1)  
        if Pfreak1(i,1)>=limit1  
            A1(J1,q)=Pfreak1(i,1);  
            QPGA1(J1,q)=QPG(i,1);  
            kritirioA1(J1,q)=kritirio1(i,1);  
            J1=J1+1;  
        else  
            B1(j1,q)=Pfreak1(i,1);  
            QPGB1(j1,q)=QPG(i,1);  
            kritirioB1(J1,q)=kritirio1(i,1);  
            j1=j1+1;  
        end  
    end  
end
```

Σε αυτό το κομμάτι ορίζουμε τα κριτήρια που ξεκινούν από 0,1 μέχρι 0,55 (βήμα 0,05 που αντιστοιχεί σε 9 επαναλήψεις) και υπολογίζουμε τους πίνακες A1 και B1. Τα κριτήρια αυτά βοηθούν να κατηγοριοποιηθούν τα δεδομένα με βάση το αν ξεπερνούν το συγκεκριμένο κριτήριο. Ο A1 λαμβάνει τιμές του Pfreak1 όταν ξεπερνάει το κριτήριο αλλιώς η τιμή του Pfreak1 μπαίνει στον πίνακα B1. Δημιουργούμε αντίστοιχα τους πίνακες QPGA1, kritirioA1, QPGB1, kritirioB1 από τις τιμές QPG, kritirio1 που αντιστοιχούν στις τιμές του Pfreak1.

```
for i=1:1:length(Pfreak2)
if Pfreak2(i,1)>=limit2
    A2(J2,q)=Pfreak2(i,1);
    QPGA2(J2,q)=QPG(i,1);
    kritirioA2(J2,q)=kritirio1(i,1);
J2=J2+1;
else
    B2(j2,q)=Pfreak2(i,1);
    QPGB2(j2,q)=QPG(i,1);
    kritirioB2(J2,q)=kritirio1(i,1);
j2=j2+1;
end
end
```

Για τα ίδια κριτήρια που ορίστηκαν προηγουμένως υπολογίζουμε τους πίνακες A2 και B2. Ο A2 λαμβάνει τιμές του Pfreak2 όταν ξεπερνάει το κριτήριο αλλιώς η τιμή του Pfreak2 μπαίνει στον πίνακα B2. Δημιουργούμε αντίστοιχα τους πίνακες QPGA2, kritirioA2, QPGB2, kritirioB2 από τις τιμές QPG, kritirio1 που αντιστοιχούν στις τιμές του Pfreak2.

```
avrQPGA1(q,:)=mean(QPGA1(:,q));
avrQPGA2(q,:)=mean(QPGA2(:,q));
avrQPGB1(q,:)=mean(QPGB1(:,q));
avrQPGB2(q,:)=mean(QPGB2(:,q));
avrA1(q,:)=mean(A1(:,q));
avrA2(q,:)=mean(A2(:,q));
avrB1(q,:)=mean(B1(:,q));
avrB2(q,:)=mean(B2(:,q));
avrkritirioA1(q,:)=mean(kritirioA1(:,q));
avrkritirioA2(q,:)=mean(kritirioA2(:,q));
avrkritirioB1(q,:)=mean(kritirioB1(:,q));
avrkritirioB2(q,:)=mean(kritirioB2(:,q));
kritiom(q,:)=q;
```

Σε αυτό το σημείο υπολογίζουμε τις μέσες τιμές των παραπάνω πινάκων ενώ το *kritiom* είναι βοηθητικό για τις γραφικές.

```
figure(1)
scatter(Pfreak1,Pfreak2)
axis([0,max(Pfreak1)*1.2,0,max(Pfreak2)*1.2])
title('Pfreak1-Pfreak2')
xlabel('Pfreak1')
ylabel('Pfreak2')
R1 = corrcoef(Pfreak1,Pfreak2);
R1 =R1 (1,2);
figure(2)
scatter(Pfreak1,QPG)
axis([0,max(Pfreak1)*1.2,0,max(QPG)*1.2]);
title('Pfreak1-QPG')
xlabel('Pfreak1')
ylabel('QPG')
R2 = corrcoef(Pfreak1,QPG);
R2 =R2 (1,2);
figure(3)
scatter(Pfreak2,QPG)
axis([0,max(Pfreak2)*1.2,0,max(QPG)*1.2]);
title('Pfreak2-QPG')
xlabel('Pfreak2')
ylabel('QPG')
R3 = corrcoef(Pfreak2,QPG);
R3 =R3 (1,2);
End
```

Κατασκευάζουμε τις τρεις γραφικές παραστάσεις και υπολογίζουμε τον συντελεστή συσχέτισης των αντίστοιχων μεγεθών

```
figure(4)
plot(kritiom,avrkritirioA1);
hold on
plot(kritiom,avrQPGA1);
title('kritiom avrkritirioA1-avrQPGA1')
xlabel('kritiom')
ylabel('avrkritirioA1-avrQPGA1')
hold off
```

Εδώ υπολογίζεται η γραφική παράσταση που δείχνει την μεταβολή των μεγεθών $avrkritirioA1$, $avrQPGA1$ σε σχέση με τα κριτήρια που έχουν δοθεί.

```
for q=1:1:9
    FINAL(q+1,3)=avrQPGA1(q,1);
    FINAL(q+1,4)=avrQPGA2(q,1);
    FINAL(q+1,5)=avrQPGb1(q,1);
    FINAL(q+1,6)=avrQPGb2(q,1);
    FINAL(q+1,7)=avrA1(q,1);
    FINAL(q+1,8)=avrA2(q,1);
    FINAL(q+1,9)=avrB1(q,1);
    FINAL(q+1,10)=avrB2(q,1);
    FINAL(q+1,11)=avrkritirioA1(q,1);
    FINAL(q+1,12)=avrkritirioA2(q,1);
    FINAL(q+1,13)=avrkritirioB1(q,1);
    FINAL(q+1,14)=avrkritirioB2(q,1);
end
```

Δημιουργώ έναν τελικό πίνακα (final) στον οποίο παρουσιάζονται ανα στήλη όλα τα αποτελέσματα συγκεντρωτικά.

```
FINALDEF(1,1) = {'kritirio1'};
FINALDEF(1,2) = {'kritirio2'};
FINALDEF(1,3) = {'avrQPGA1'};
FINALDEF(1,4) = {'avrQPGA2'};
FINALDEF(1,5) = {'avrQPGb1'};
FINALDEF(1,6) = {'avrQPGb2'};
FINALDEF(1,7) = {'avrA1'};
FINALDEF(1,8) = {'avrA2'};
FINALDEF(1,9) = {'avrB1'};
FINALDEF(1,10) = {'avrB2'};
FINALDEF(1,11) = {'avrkritirioA1'};
FINALDEF(1,12) = {'avrkritirioA2'};
FINALDEF(1,13) = {'avrkritirioB1'};
FINALDEF(1,14) = {'avrkritirioB2'};
xlswrite('sigentrotikos.xlsx',FINAL);
xlswrite('sigentrotikostonomata.xlsx',FINALDEF);
```

Εδώ ορίζουμε τα ονόματα κάθε στήλης που προηγούμενως αφήσαμε κενό και έτσι προκύπτει ο συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων.

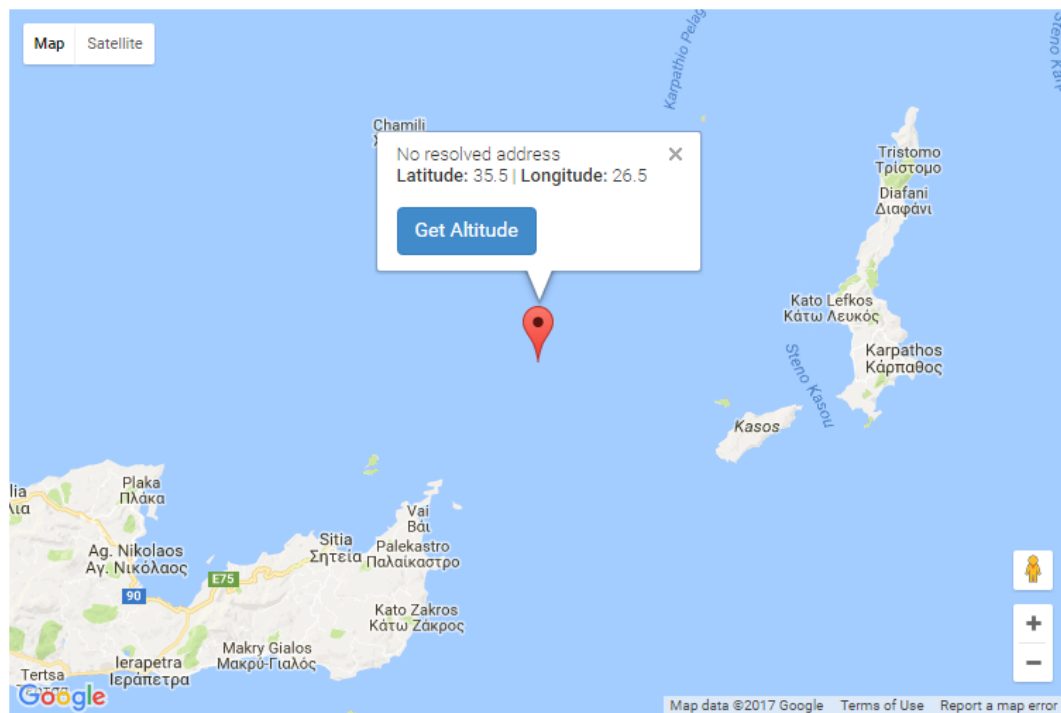
§3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι ετήσια και είναι απο επτά διαφορετικά σημεία του Ελλαδικού χώρου. Οι μετρήσεις έγιναν ανά μία ώρα. Τα σημεία αυτά έχουν τις εξής συντεταγμένες:

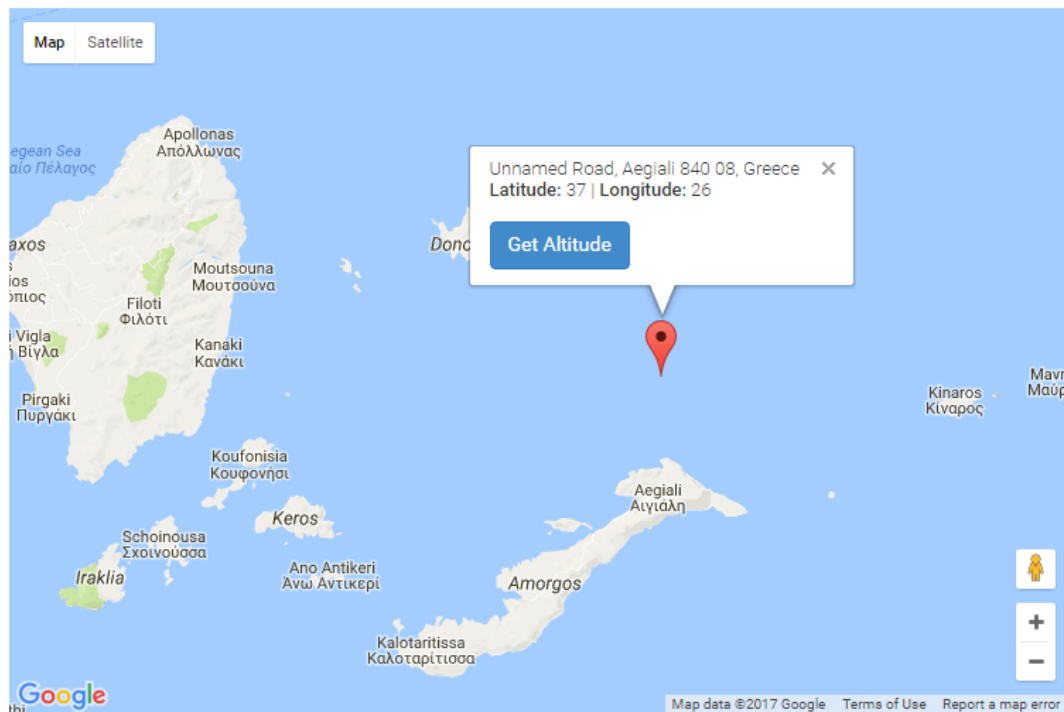
ΣΗΜΕΙΟ	LONGITUDE	LATITUDE
A	26,5	35,5
B	26	37
Γ	25	39
Δ	23	36
E	23	35
Z	21	37
H	20	39

Εικόνα 2.1 Συγκεντρωτικός πίνακας σημείων

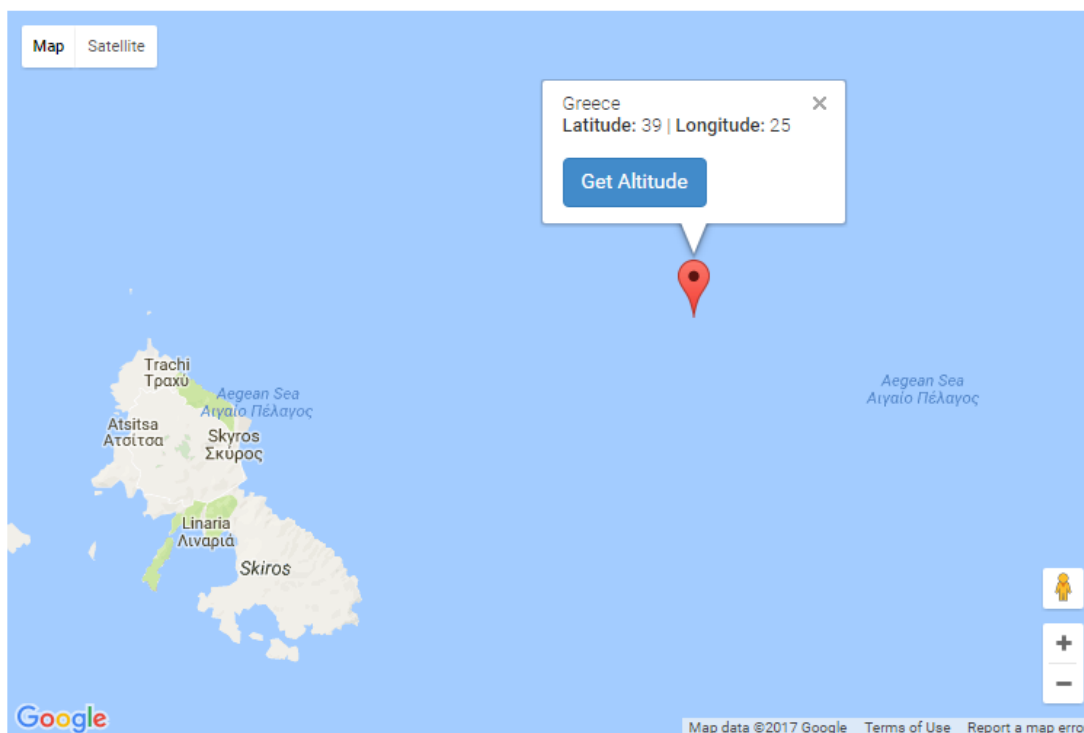
Τα σημεία έχουν επιλεγεί με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος του Ελλαδικού χώρου και σε αρκετή απόσταση μεταξύ τους προς μείωση των σφαλμάτων. Στη συνέχεια ακολουθεί η παρουσίαση του κάθε σημείου ξεχωριστά με τη βοήθεια του google maps, καθώς και ένας συγκεντρωτικός χάρτης, στον οποίο διακρίνεται η προαναφερθείσα χωρική διασπορά των σημείων που επιλέχθηκαν.



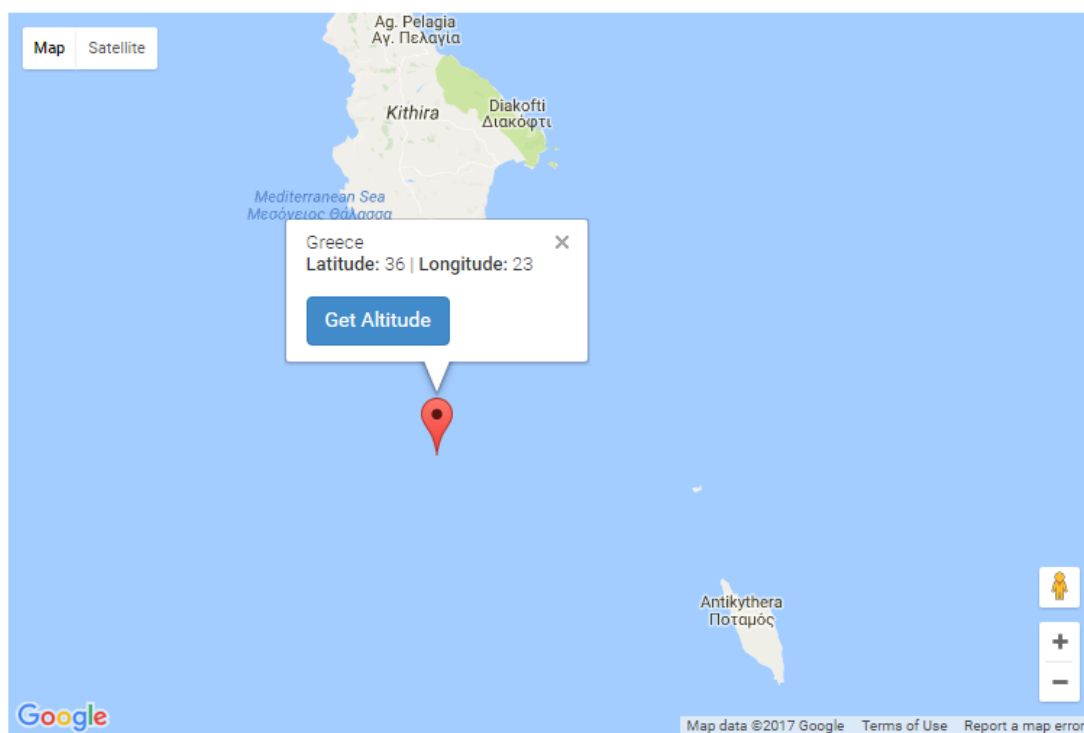
Εικόνα 2.2 Σημείο πρώτο: Κάσος



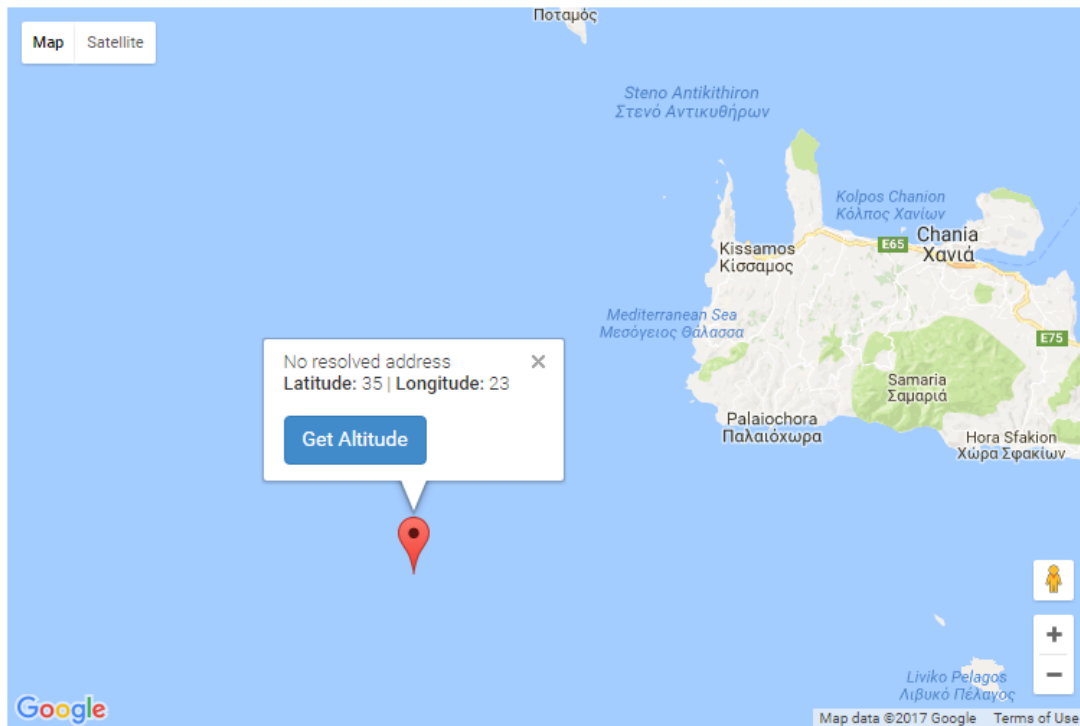
Εικόνα 2.3 Σημείο δεύτερο: Αμοργός



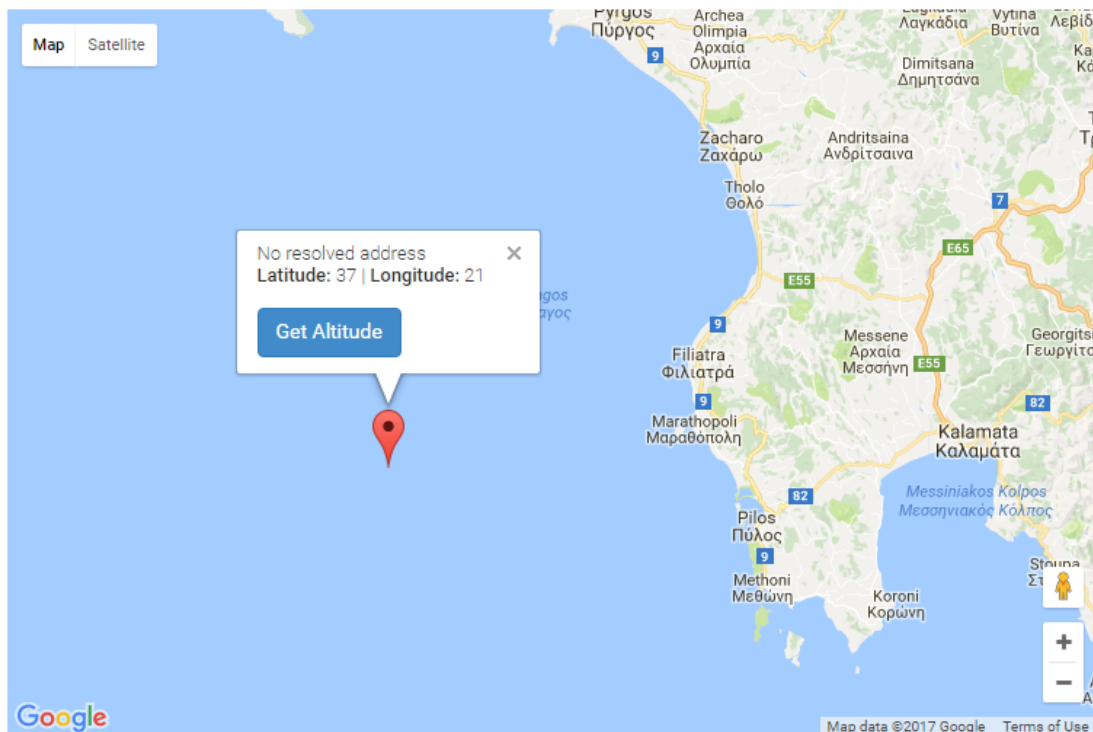
Εικόνα 2.4 Σημείο τρίτο: Σκύρος



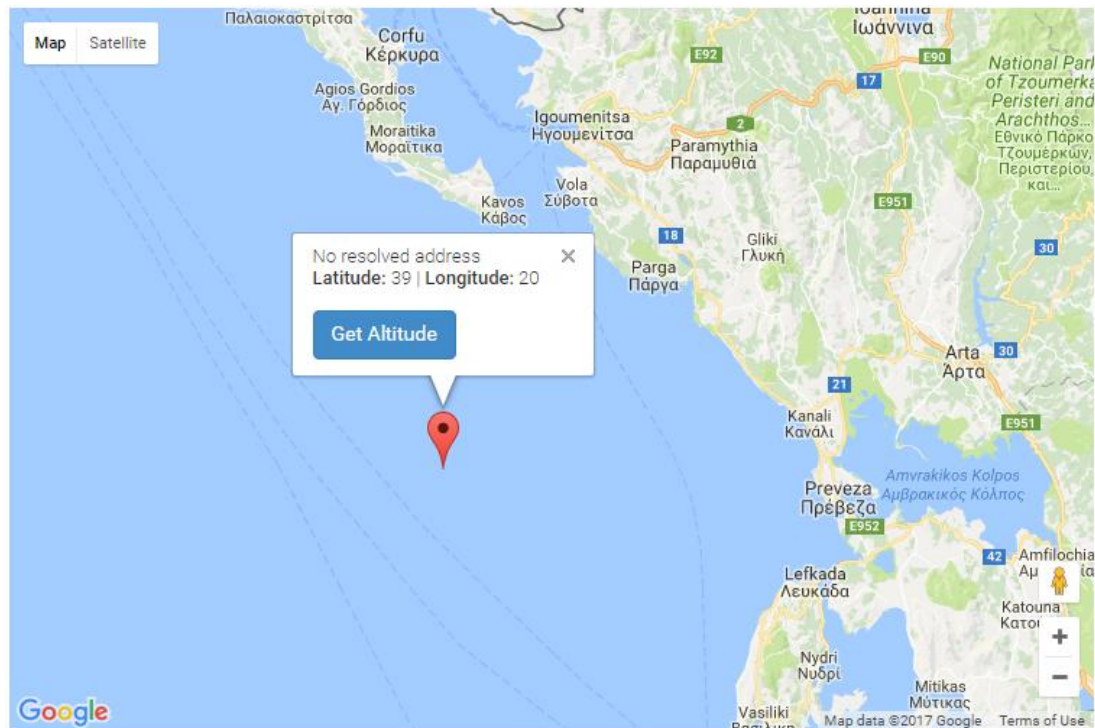
Εικόνα 2.5 Σημείο τέταρτο: Κύθηρα



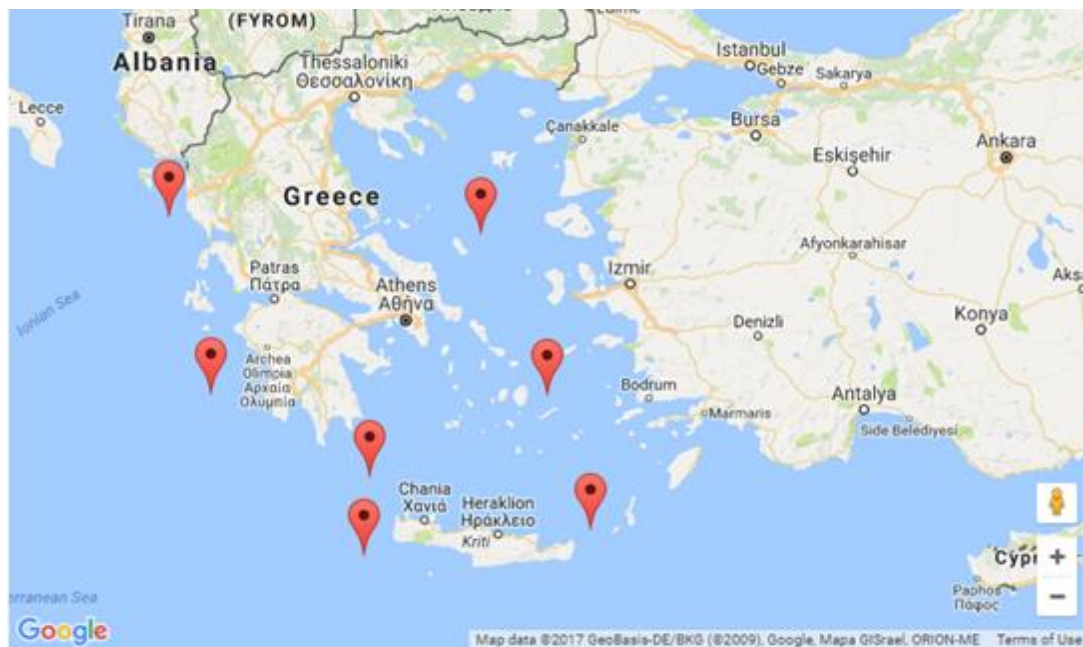
Εικόνα 2.6 Σημείο πέμπτο: Δυτική κρήνη



Εικόνα 2.7 Σημείο έκτο: Μεθώνη



Εικόνα 2.8 Σημείο έβδομο: Πάργα



Εικόνα 2.9 Συγκεντρωτικός χάρτης σημείων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΑΚΡΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ

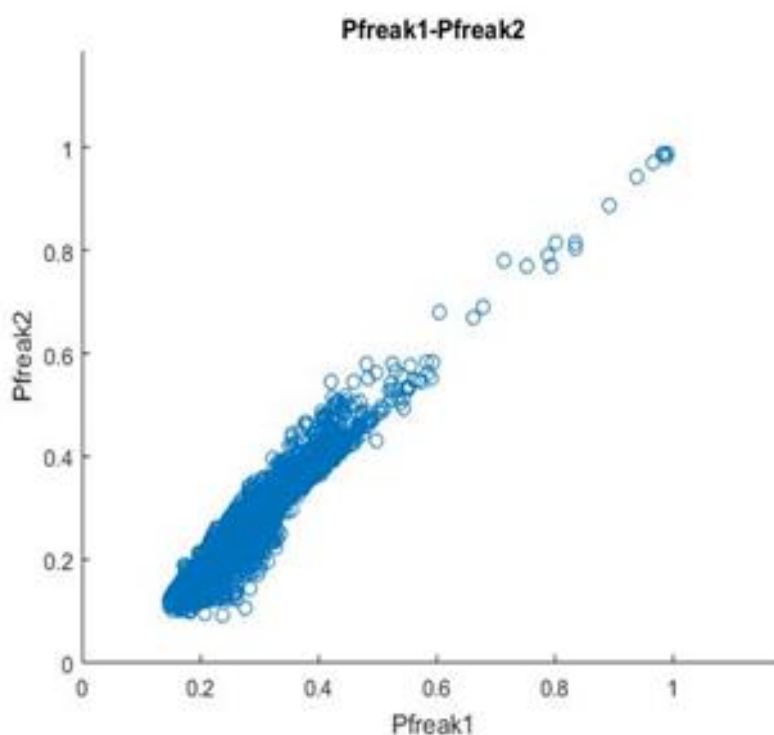
§1. ΑΝΑΛΥΣΗ

Τρέχοντας το πρόγραμμα με τον κώδικα που παρουσιάσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο για τα επτά σημεία του χάρτη μας συγκεντώνουμε τα αποτελέσματα μας σε πίνακες και κατασκευάζουμε τις κατάλληλες γραφικές. Για κάθε σημείο έχουμε κατασκευάσει αρχικά έναν συγκεντρωτικό πίνακα με τιμές και μέσες τιμές των μεταβλητών που αναφέραμε πιο πάνω για κάθε μας κριτήριο (0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 0.5, 0.55). Ακολουθούν τρεις γραφικές παραστάσεις στις οποίες παρουσιάζεται η συσχέτιση των μεγεθών Pfreak1-Pfreak2, Pfreak1-QPQ, Pfreak2-QPG, δηλαδή μεταξύ των δεικτών που θα χρησιμοποιήσουμε παρακάτω για την στατιστική μας μελέτη. Στην τελευταία μας γραφική απεικόνιση η οποία έχει πραγματοποιηθεί στο Excel παρουσιάζει την μεταβολή των τιμών του κριτηρίου 1 (στον κώδικα αναφέρεται ως avgkritirioA1). Ο δείκτης αυτός παρίσταται με κόκκινη γραμμή και ο avgQPGA1 με μπλέ γραμμή με βάση τα κριτήριά μας.

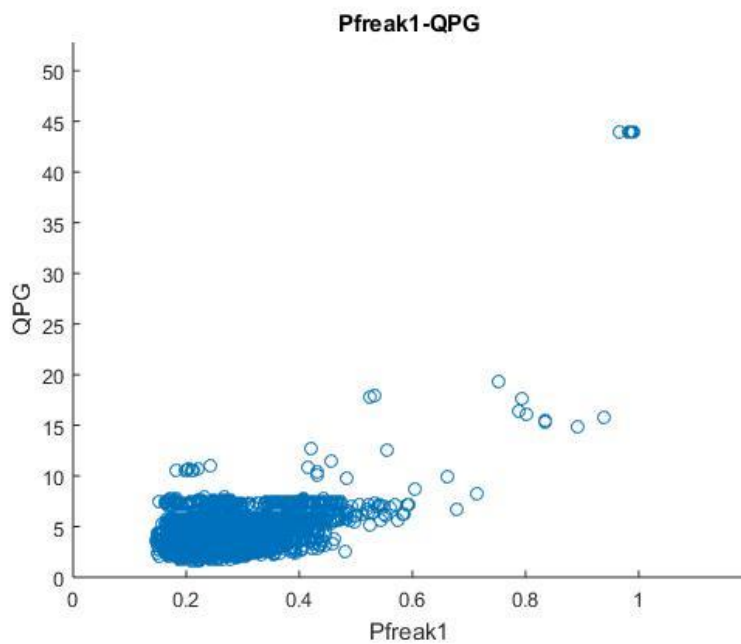
Για το πρώτο σημείο το οποίο αντιστοιχεί στις συντεταγμένες (26.5, 35.5) έχουμε τα αποτελέσματα:

kritirio1	kritirio2	avrQPGA1	avrQPGA2	avrQPGB1	avrQPGB2	avrA1	avrA2	avrB1	avrB2	avrkritirioA1	avrkritirioA2	avrkritirioB1	avrkritirioB2
0.15	0.15	4.643233	4.675021	3.570956	3.896699	0.292048	0.276013	0.148664	0.131967	0.641665681	0.668928924	0	0.000131458
0.2	0.2	4.416443	4.177367	4.027274	4.062878	0.281836	0.254192	0.181111	0.167725	0.633147995	0.63215696	0.0005334	0.004601025
0.25	0.25	3.543369	3.075112	4.269697	4.26133	0.235833	0.197687	0.218088	0.202373	0.527978233	0.479269497	0.01120149	0.011173919
0.3	0.3	2.28105	1.797231	4.250727	4.352286	0.153575	0.118773	0.249064	0.232703	0.344019875	0.279861797	0.01466862	0.018798475
0.35	0.35	0.847764	0.60138	4.439486	4.519612	0.05694	0.042326	0.274911	0.254964	0.120430616	0.080083909	0.01320176	0.007756014
0.4	0.4	0.261613	0.233645	4.551815	4.570652	0.017224	0.016402	0.285415	0.262974	0.025671359	0.020730503	0.00613415	0.003812278
0.45	0.45	0.102706	0.117539	4.586652	4.591931	0.005805	0.007759	0.289069	0.266105	0.003903939	0.006169793	0.00160021	0.001051663
0.5	0.5	0.06989	0.076386	4.596176	4.597189	0.003415	0.004089	0.289991	0.267648	0.00094641	0.001727542	0.00013335	0.000525831
0.55	0.55	0.054711	0.056777	4.60267	4.602949	0.002422	0.002538	0.290437	0.268376	0.000354904	0.000493583	0.00013335	0.000262916

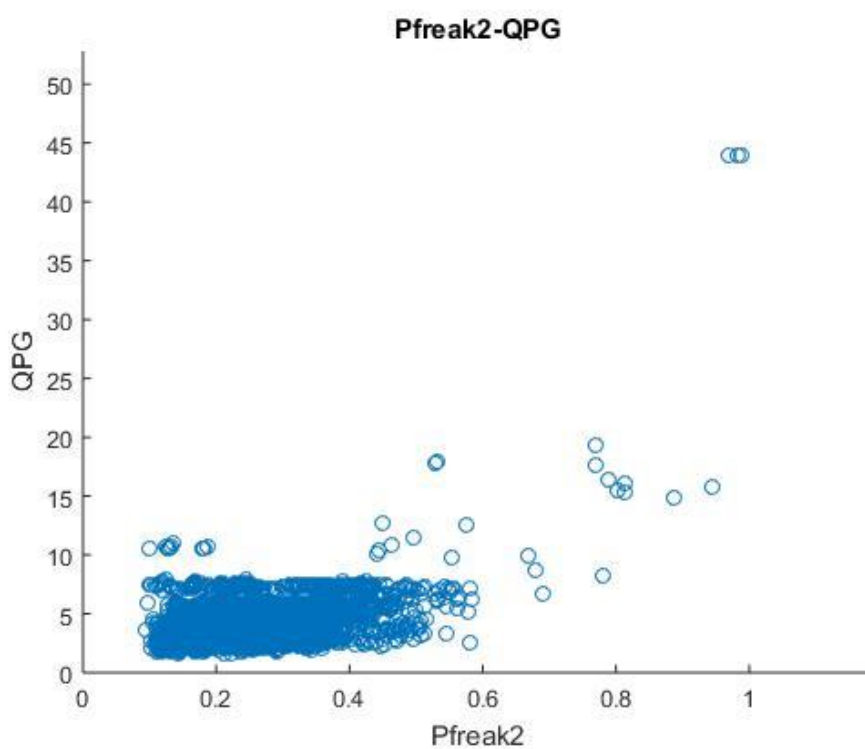
Εικόνα 3.1 Συγκεντρωτικός πίνακας μεταβλητών



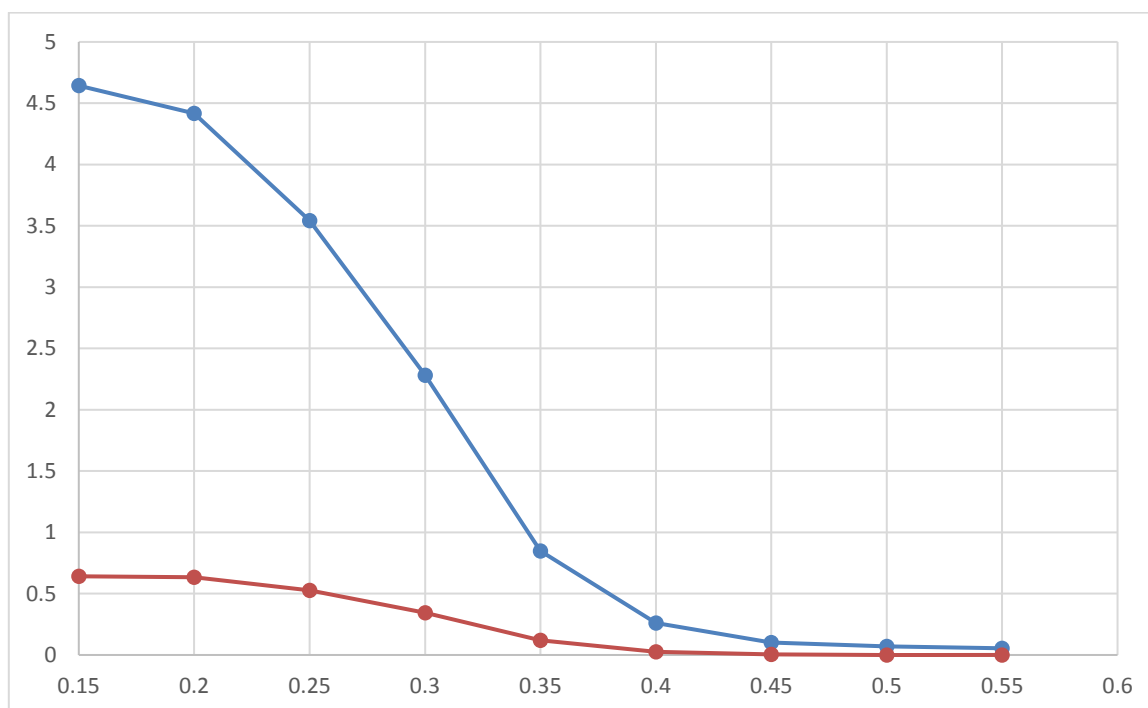
Εικόνα 3.2 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak1-Pfreak2



Εικόνα 3.3 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak1-QPG



Εικόνα 3.4 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak2-QPG

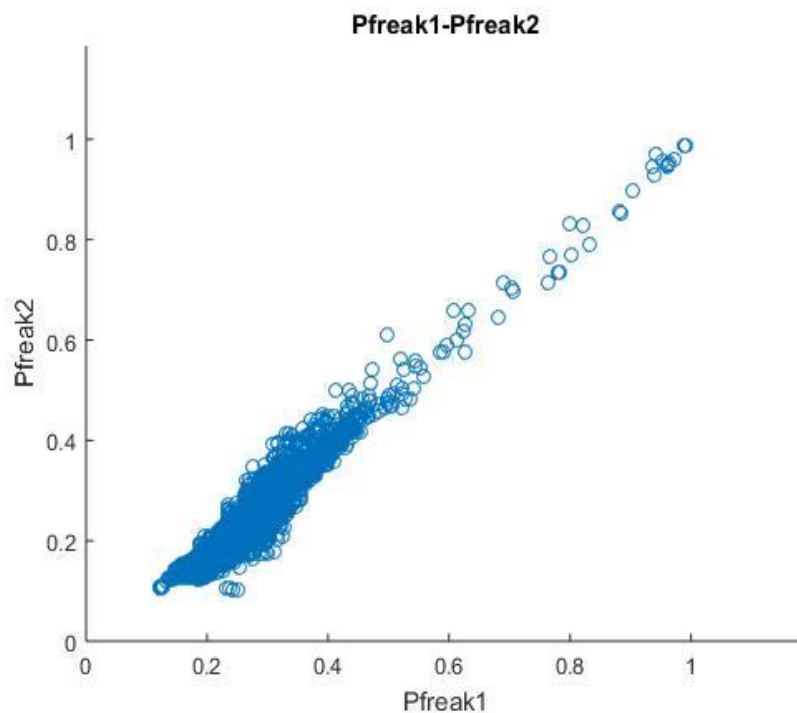


Εικόνα 3.5 Διάγραμμα μεταβολής avgkritiroA1-avgQPGA1

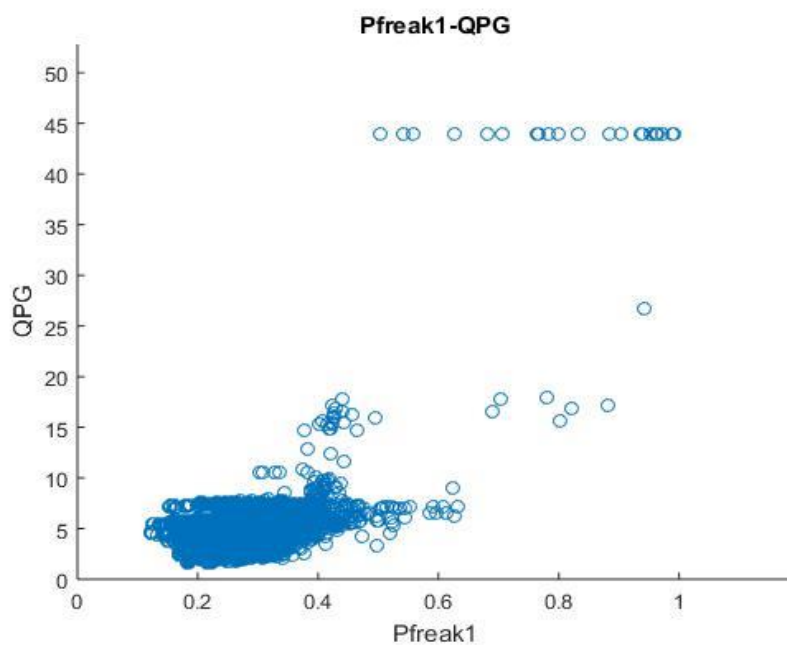
Στο δεύτερο σημείο με συντεταγμένες (26.00,37.00) παρουσιάζονται τα παρακάτω αποτελέσματα:

kritirio1	kritirio2	avrQPGA1	avrQPGA2	avrQPGb1	avrQPGb2	avrA1	avrA2	avrB1	avrB2	avrkritirioA1	avrkritirioA2	avrkritirioB1	avrkritirioB2
0.15	0.15	5.27183	5.3040946	4.815781	3.9515727	0.2856276	0.260602	0.1380636	0.134789	0.56467514	0.576470588	0	0
0.2	0.2	5.038348	4.5988002	4.3708659	4.3901856	0.2757548	0.231941	0.1792698	0.174734	0.55054044	0.510248636	0.00201511	0.00681929
0.25	0.25	3.944439	2.8397892	4.6840545	4.8749108	0.2231116	0.154393	0.2190702	0.208337	0.41810191	0.274954518	0.0115869	0.0153434
0.3	0.3	2.185499	1.4188814	4.9221956	5.040172	0.1289628	0.081878	0.249015	0.230298	0.18660173	0.101879927	0.01675063	0.01071603
0.35	0.35	0.815003	0.533666	5.0406584	5.0938932	0.0459008	0.028581	0.2704514	0.246182	0.04774914	0.022073984	0.00768262	0.00328787
0.4	0.4	0.287955	0.2625039	5.1067717	5.1196543	0.0120992	0.010824	0.2796312	0.252056	0.00783941	0.005457853	0.0011335	0.00036532
0.45	0.45	0.170175	0.1777123	5.1470775	5.1456518	0.0057174	0.006013	0.2817704	0.253962	0.00166291	0.001212856	0.00025189	0.00024355
0.5	0.5	0.14847	0.1415729	5.1535059	5.1596591	0.0043206	0.00401	0.2823311	0.254868	0.00071267	0.000363857	0.00012594	0.00012177
0.55	0.55	0.127358	0.1256278	5.1648153	5.169753	0.0033295	0.003436	0.2827854	0.255158	0	0	0.00012594	0.00012177

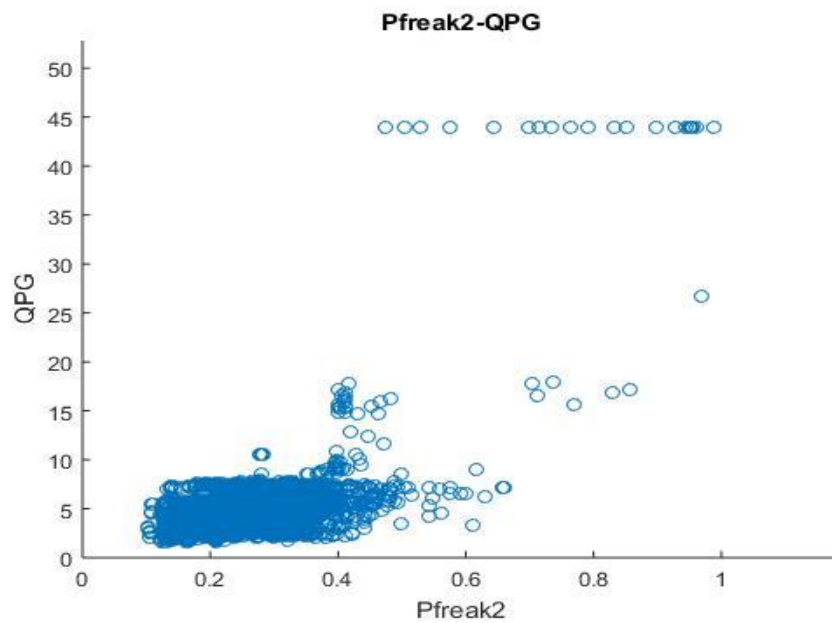
Εικόνα 3.6 Συγκεντρωτικός πίνακας μεταβλητών



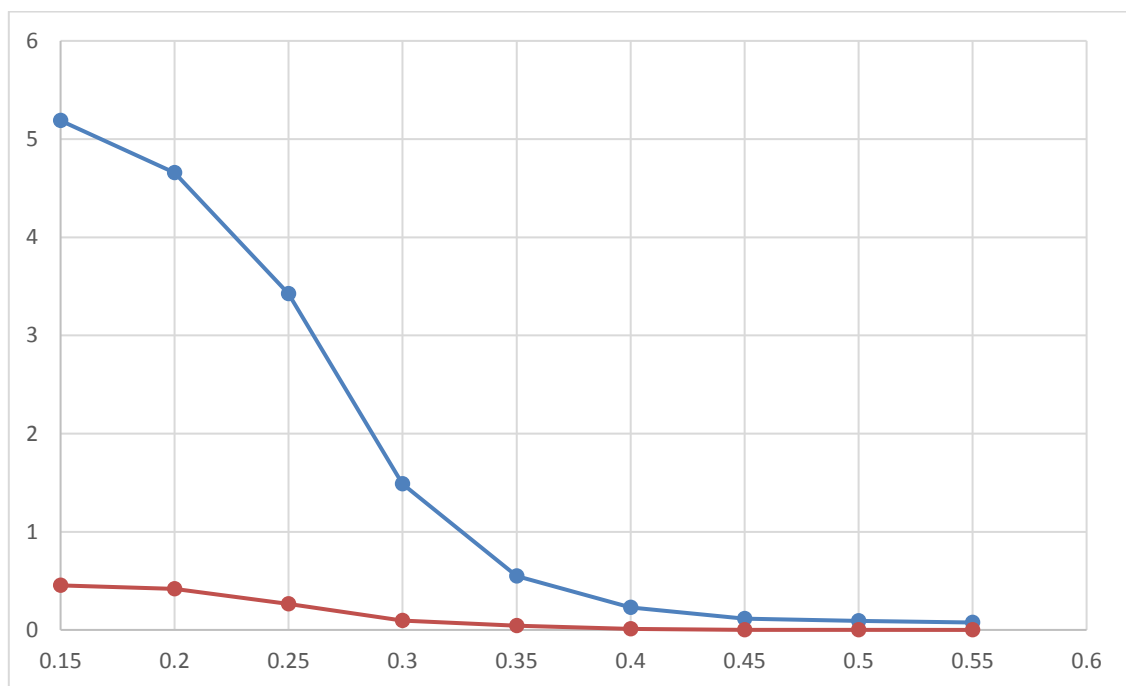
Εικόνα 3.7 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak1-Pfreak2



Εικόνα 3.8 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak1-QPG



Εικόνα 3.9 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak2-QPG

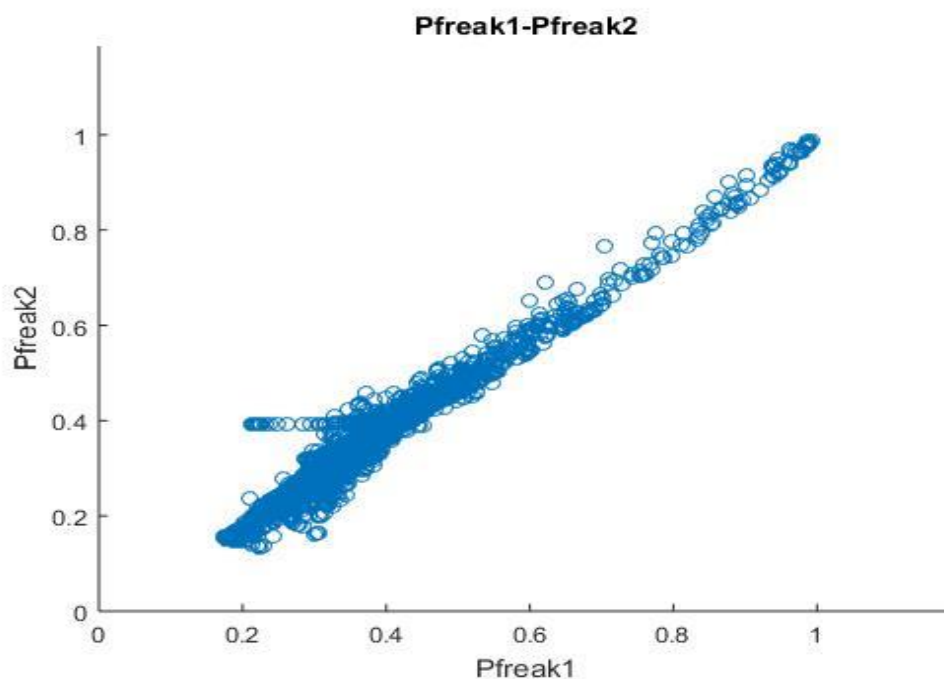


Εικόνα 3.10 Διάγραμμα μεταβολής avgkritiroA1-avgQPGA1

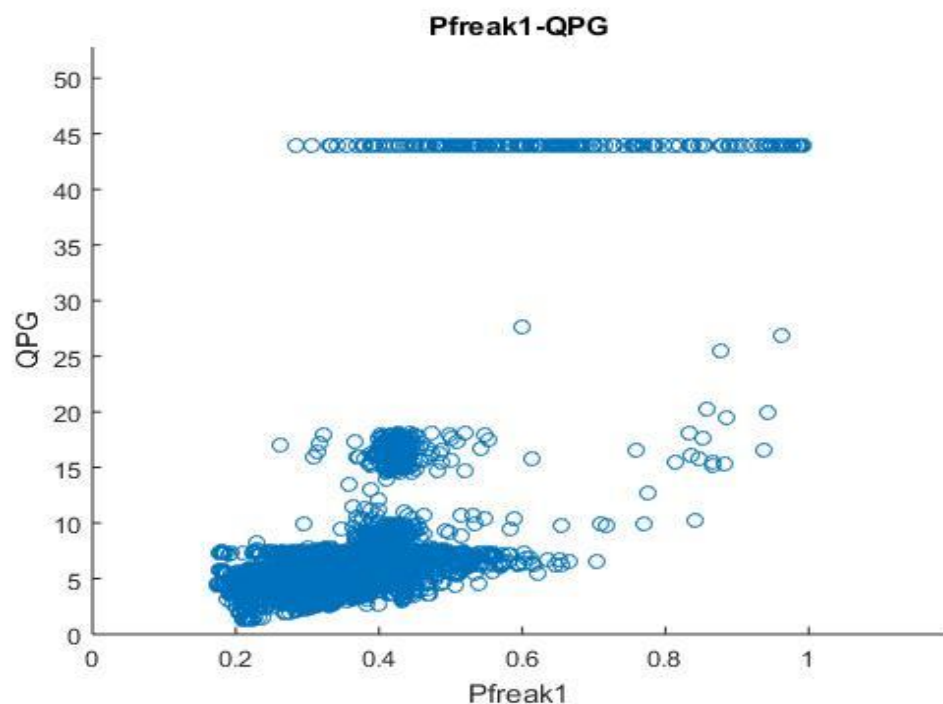
Για το τρίτο σημείο με συντεταγμένες (25.00,39.00) έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

kritirio1	kritirio2	avrQPGA1	avrQPGA2	avrQPGB1	avrQPGB2	avrA1	avrA2	avrB1	avrB2	avrkritirioA1	avrkritirioA2	avrkritirioB1	avrkritirioB2
0.15	0.15	6.715945	6.718765	0	4.549764	0.335704	0.311115	0	0.14182	0.599692708	0.60047337	0	0
0.2	0.2	6.680045	6.60621	4.899221	4.489422	0.334327	0.306687	0.187899	0.174782	0.597683489	0.58816568	0.001458789	0.00220236
0.25	0.25	6.415936	5.736541	4.771378	4.905901	0.321439	0.265657	0.226874	0.226603	0.555726273	0.44591716	0.006833713	0.02383728
0.3	0.3	4.830358	3.877178	5.021704	5.032725	0.233799	0.166045	0.271395	0.256724	0.293700508	0.18236686	0.026530886	0.01710066
0.35	0.35	3.214563	2.785947	5.097247	5.099963	0.133309	0.099352	0.294644	0.274434	0.119134854	0.07491124	0.014203403	0.00997539
0.4	0.4	2.155737	1.867561	5.282574	5.440445	0.067712	0.054146	0.310444	0.288036	0.034629476	0.02295858	0.004153826	0.00233191
0.45	0.45	1.324874	1.201204	5.716021	5.802267	0.034024	0.029455	0.319864	0.296069	0.010400662	0.00757396	0.001741927	0.00142506
0.5	0.5	1.104032	0.95983	5.833935	5.940616	0.025158	0.020717	0.322832	0.299442	0.003782059	0.00177515	0.000535977	0.00038865
0.55	0.55	0.893293	0.804983	5.976642	6.047087	0.018747	0.016276	0.32534	0.301372	0.000945515	0.00035503	0.000133994	0.00012955

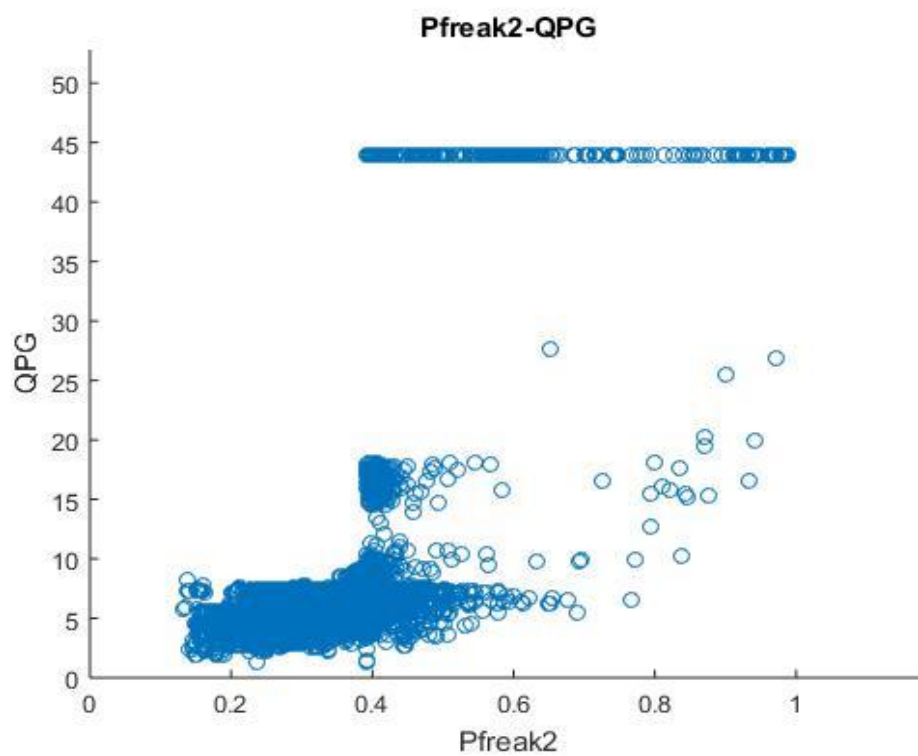
Εικόνα 3.11 Συγκεντρωτικός πίνακας μεταβλητών



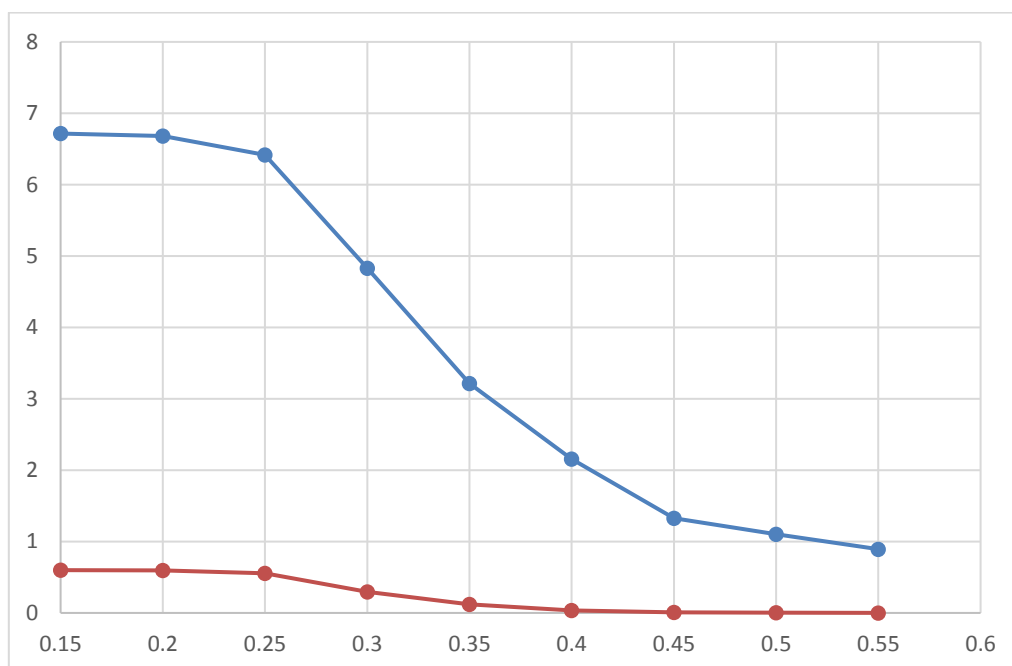
Εικόνα 3.12 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak1-Pfreak2



Εικόνα 3.13 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak1-QPG



Εικόνα 3.14 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak2-QPG

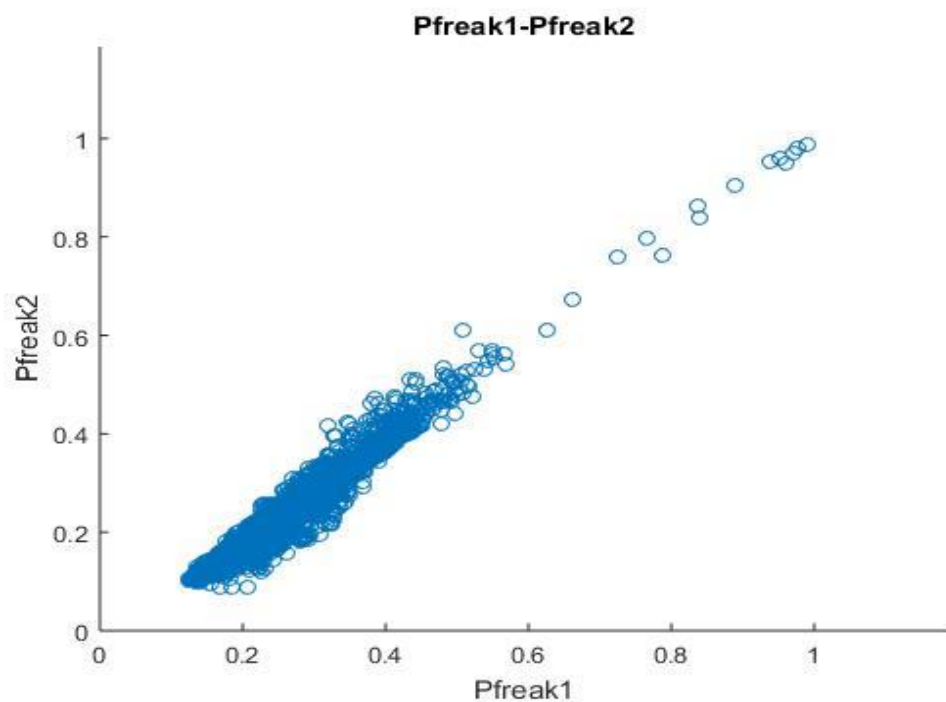


Εικόνα 3.15 Διάγραμμα μεταβολής avgkritiroA1-avgQPGA1

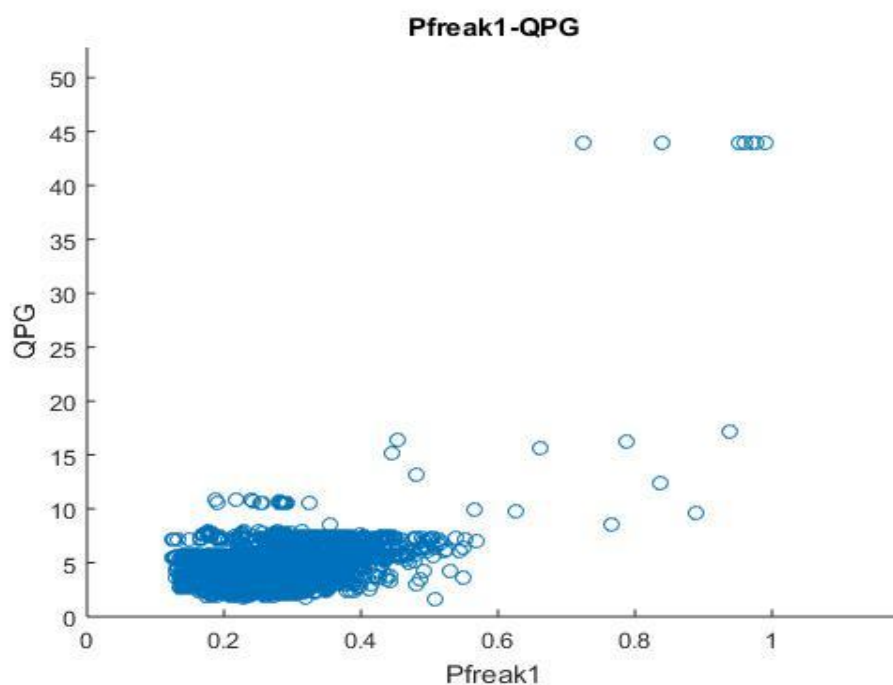
Στο τέταρτο σημείο με συντεταγμένες (23.00,36.00) τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

kritirio1	kritirio2	avrQPGA1	avrQPGA2	avrQPGA1	avrQPGA2	avrA1	avrA2	avrB1	avrB2	avrkritirioA1	avrkritirioA2	avrkritirioB1	avrkritirioB2
0.15	0.15	4.795924	4.841722	4.214684	4.039319	0.269215	0.250074	0.141829	0.13461	0.537502995	0.564027866	0	0.000808952
0.2	0.2	4.238591	3.909821	4.301594	4.218474	0.245932	0.211493	0.176382	0.166559	0.497364007	0.475364155	0.00166219	0.004179587
0.25	0.25	3.037936	2.420373	4.334211	4.392048	0.182922	0.137535	0.210594	0.197952	0.342918763	0.279037365	0.00907812	0.009842254
0.3	0.3	1.459054	0.946115	4.526904	4.619249	0.091739	0.059068	0.239243	0.221459	0.16702612	0.116782774	0.01048459	0.008763651
0.35	0.35	0.57174	0.390892	4.644483	4.693954	0.036635	0.025721	0.254362	0.231702	0.067098011	0.03989867	0.00792738	0.00323581
0.4	0.4	0.219614	0.201681	4.706508	4.719706	0.013499	0.012871	0.26167	0.236333	0.017014139	0.013679544	0.0035801	0.002561683
0.45	0.45	0.097506	0.106522	4.732614	4.735016	0.004959	0.00588	0.264862	0.239198	0.00227654	0.002786574	0.00038358	0.000269651
0.5	0.5	0.06728	0.073116	4.740646	4.74103	0.002748	0.0032	0.265827	0.240432	0.000718907	0.001266624	0	0
0.55	0.55	0.056185	0.060061	4.743192	4.743692	0.001815	0.00208	0.266276	0.240994	0.000239636	0.000253325	0	0

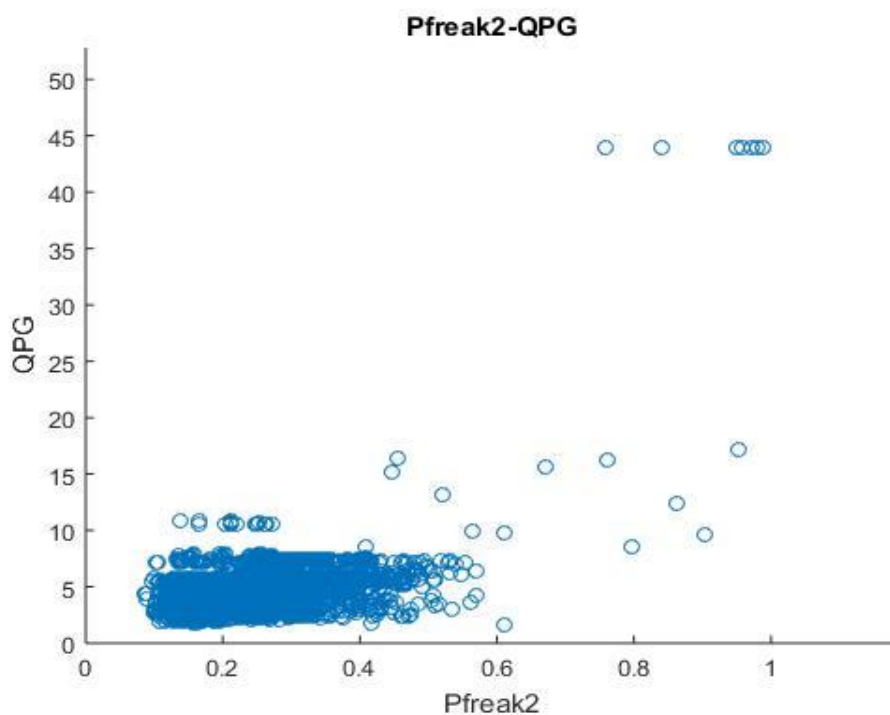
Εικόνα 3.16 Συγκεντρωτικός πίνακας μεταβλητών



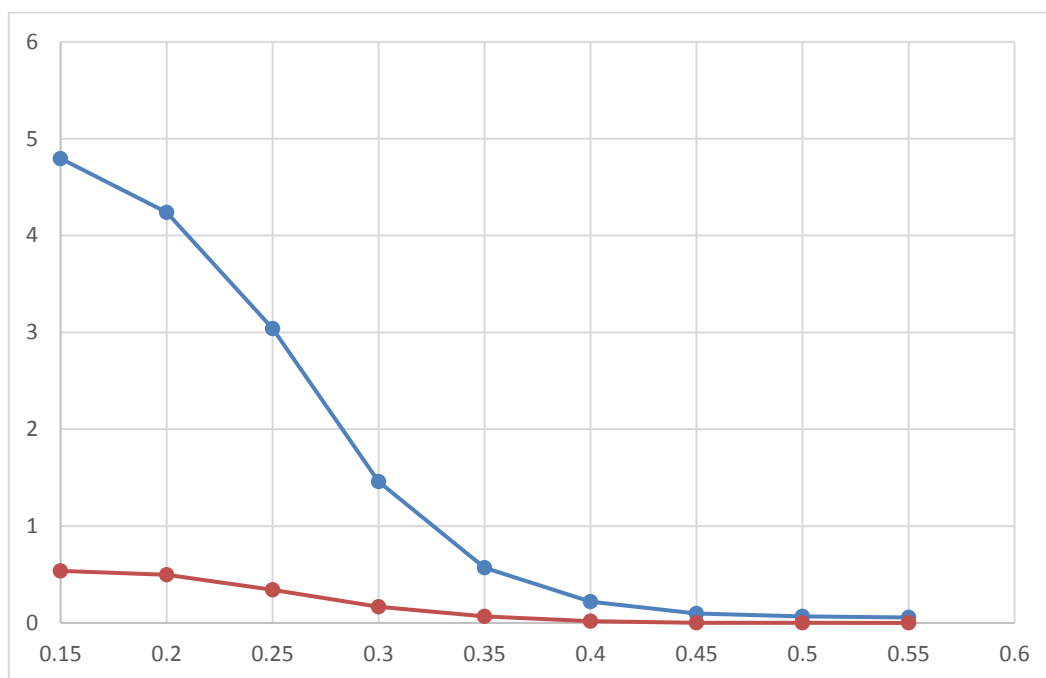
Εικόνα 3.17 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak1-Pfreak2



Εικόνα 3.18 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak1-QPG



Εικόνα 3.19 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak2-QPG

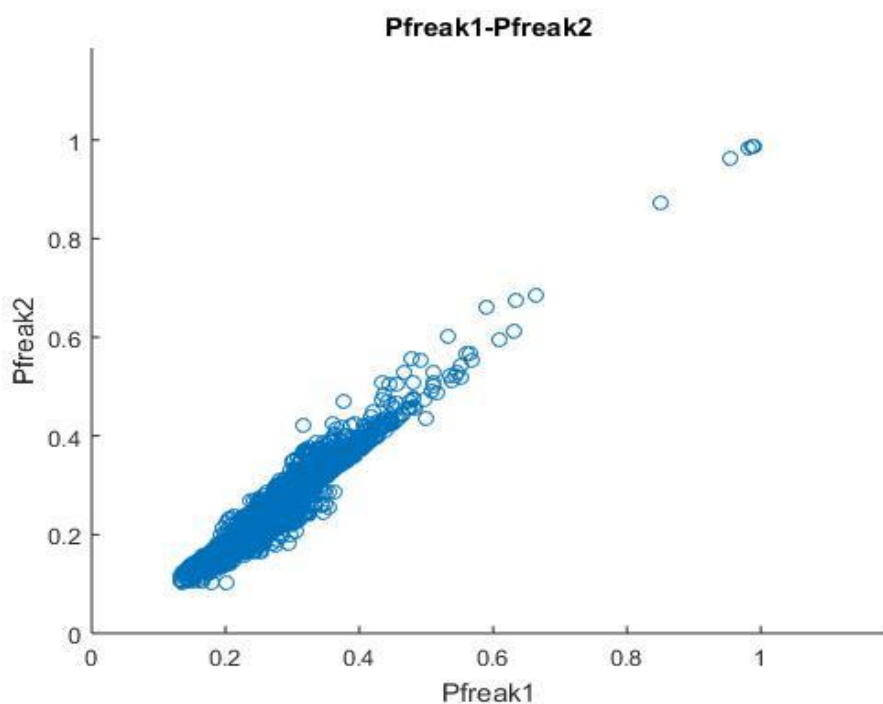


Εικόνα 3.20 Διάγραμμα μεταβολής avgkritiroA1-avgQPGA1

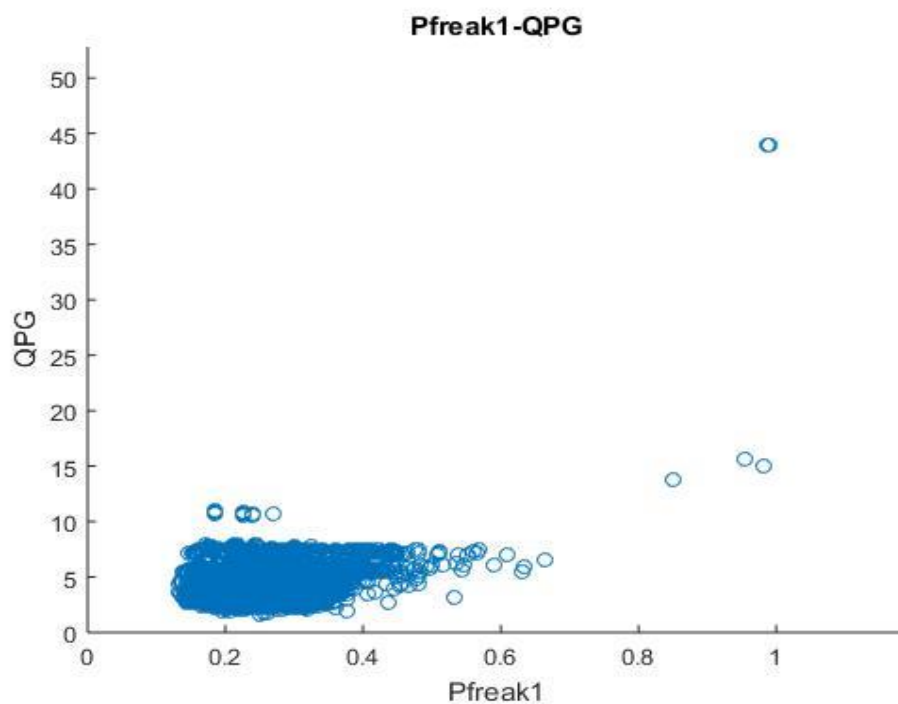
Στο πέμπτο σημείο με συντεταγμένες (23.00,35.00) έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

kritirio1	kritirio2	avrQPGA1	avrQPGA2	avrQPGB1	avrQPGB2	avrA1	avrA2	avrB1	avrB2	avrkritirioA1	avrkritirioA2	avrkritirioB1	avrkritirioB2
0.15	0.15	4.792562	4.826389	3.997015	4.139404	0.274129	0.254315	0.14454	0.13632	0.679985687	0.712633564	0	0.00066952
0.2	0.2	4.304869	4.026016	4.404986	4.388619	0.254523	0.222613	0.175824	0.166564	0.645992366	0.622250157	0.00370323	0.00669523
0.25	0.25	3.243483	2.438538	4.545194	4.58566	0.202074	0.146254	0.210315	0.201899	0.484971374	0.37485858	0.01302516	0.01419389
0.3	0.3	1.611637	1.025486	4.61681	4.686892	0.10629	0.067517	0.242717	0.225408	0.239384542	0.16140792	0.01545141	0.01044456
0.35	0.35	0.510627	0.326582	4.701572	4.737422	0.035076	0.022989	0.261685	0.238694	0.077647901	0.04990572	0.01098199	0.00763257
0.4	0.4	0.113894	0.091052	4.750416	4.759249	0.007765	0.006491	0.269671	0.244202	0.01264313	0.008799497	0.00370323	0.00241028
0.45	0.45	0.047397	0.048865	4.765299	4.766894	0.003196	0.003467	0.271307	0.245407	0.002624046	0.002891263	0.00063849	0.00040171
0.5	0.5	0.031291	0.035964	4.768313	4.768324	0.001901	0.002346	0.271854	0.245912	0.001073473	0.001634192	0.0001277	0.00026781
0.55	0.55	0.023785	0.025053	4.770118	4.770697	0.001275	0.001437	0.272154	0.246361	0.000596374	0.000502828	0.0001277	0.0001339

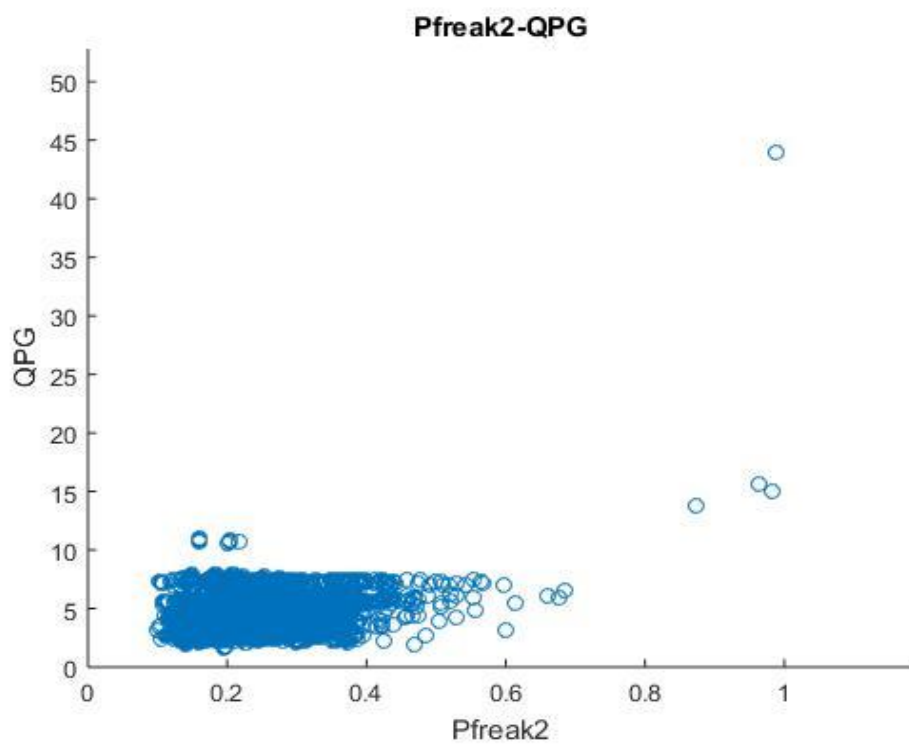
Εικόνα 3.21 Συγκεντρωτικός πίνακας μεταβλητών



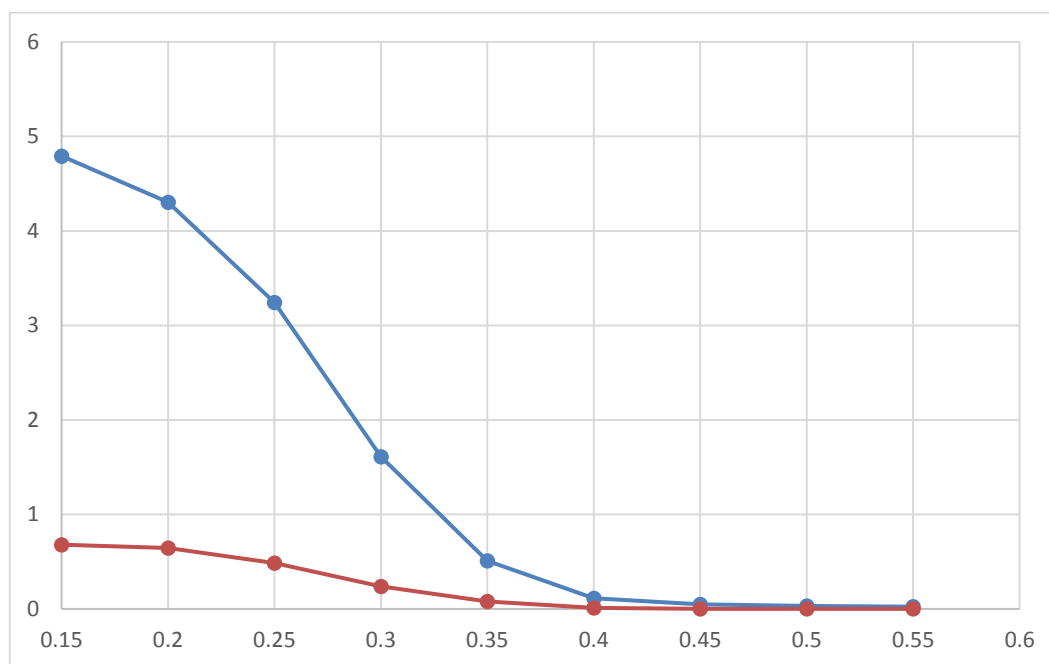
Εικόνα 3.22 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak1-Pfreak2



Εικόνα 3.23 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak1-QPG



Εικόνα 3.24 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak2-QPG

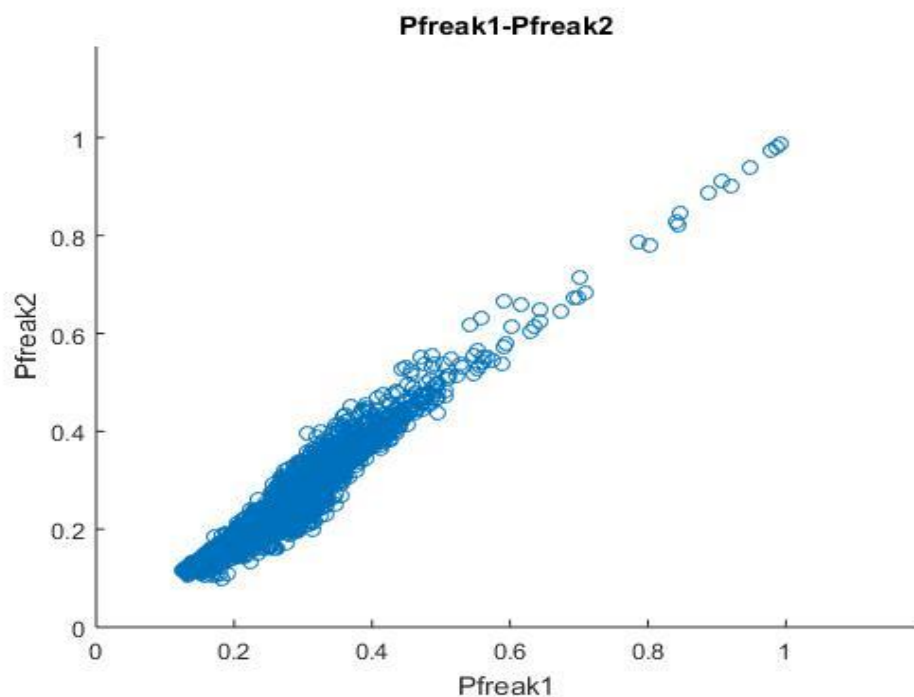


Εικόνα 3.25 Διάγραμμα μεταβολής avrkritirioA1-avrQPGA1

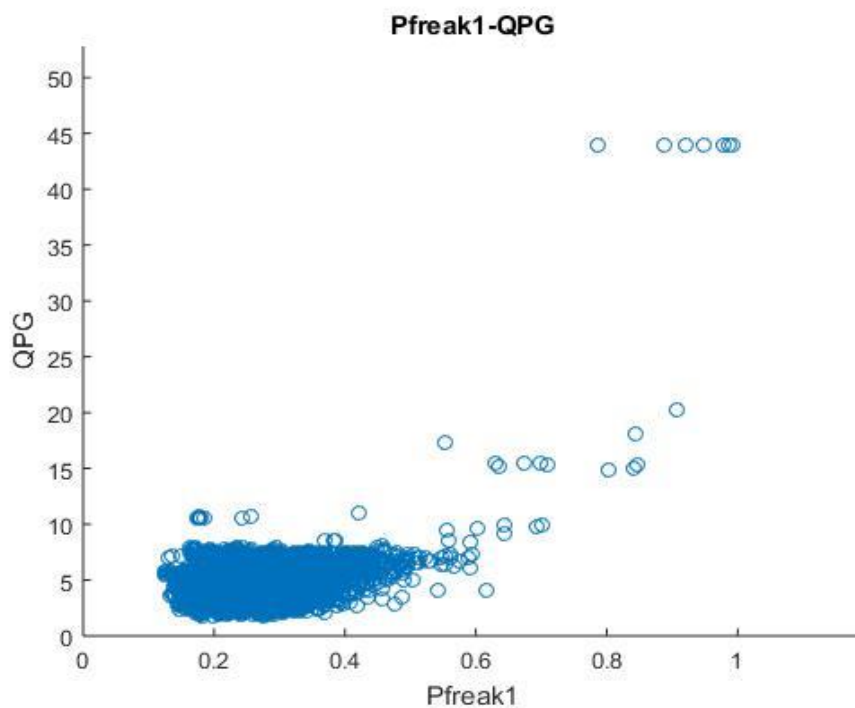
Στο έκτο σημείο με συντεταγμένες (21.00,37.00) παρουσιάζονται τα εξής αποτελέσματα:

kritirio1	kritirio2	avrQPGA1	avrQPGA2	avrQPGb1	avrQPGb2	avrA1	avrA2	avrB1	avrB2	avrkritirioA1	avrkritirioA2	avrkritirioB1	avrkritirioB2
0.15	0.15	4.834673	4.873341	4.625825	4.167987	0.275919	0.257302	0.141959	0.135726	0.432664756	0.451956849	0	0.000133941
0.2	0.2	4.20434	3.758769	4.692198	4.630567	0.251859	0.215552	0.176669	0.169225	0.380730659	0.337556448	0.00419634	0.006295205
0.25	0.25	2.994608	2.466306	4.718085	4.627648	0.1941	0.152874	0.208174	0.195961	0.246776504	0.217009533	0.00394201	0.004687919
0.3	0.3	1.835969	1.306242	4.646692	4.684147	0.123648	0.086695	0.234516	0.219251	0.159383954	0.128449574	0.00584944	0.005625502
0.35	0.35	0.750433	0.522834	4.68048	4.732008	0.050387	0.035888	0.257153	0.236016	0.070439351	0.043903663	0.00521363	0.003080632
0.4	0.4	0.244858	0.217892	4.74322	4.758311	0.015388	0.014138	0.267987	0.243665	0.01313276	0.008529854	0.00190743	0.000803643
0.45	0.45	0.121296	0.127553	4.76829	4.769897	0.006666	0.007222	0.271147	0.246442	0.002148997	0.002508781	0.00063581	0.000535762
0.5	0.5	0.084695	0.093436	4.776392	4.777287	0.00384	0.004625	0.272349	0.247615	0.000477555	0.000501756	0.00012716	0.000133941
0.55	0.55	0.074669	0.076314	4.77899	4.780446	0.003031	0.003105	0.272733	0.248378	0.000238777	0.000376317	0.00012716	0.000133941

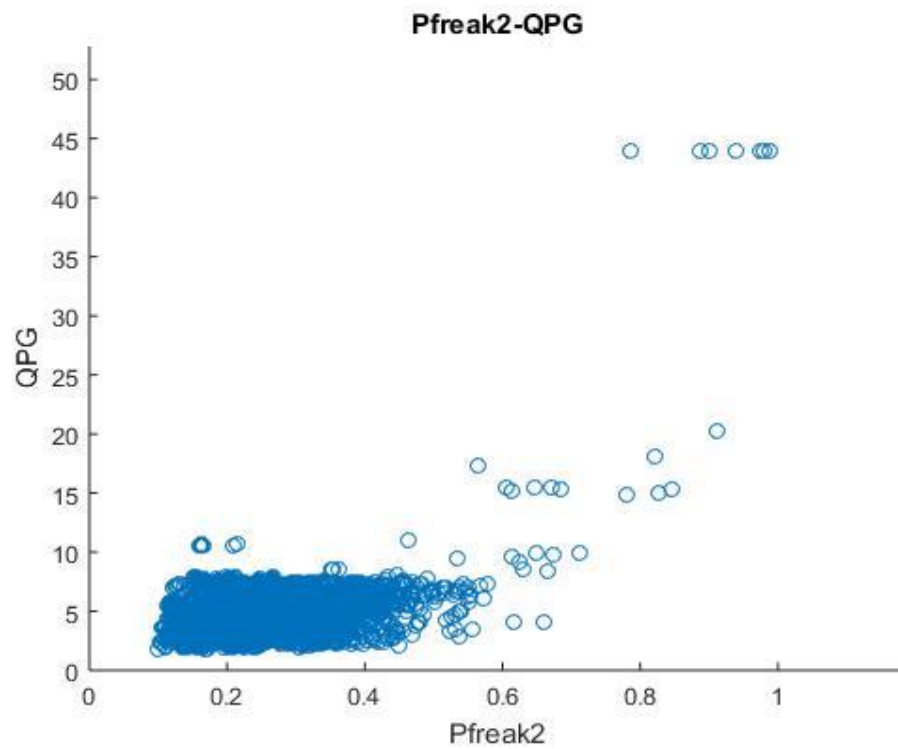
Εικόνα 3.26 Συγκεντρωτικός πίνακας μεταβλητών



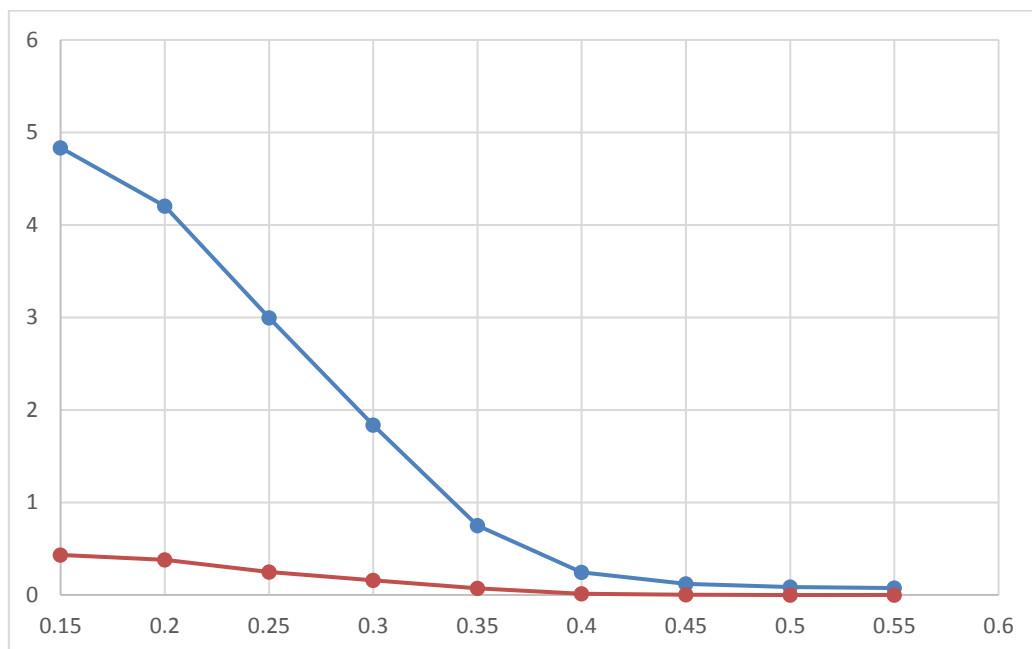
Εικόνα 3.27 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak1-Pfreak2



Εικόνα 3.28 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak1-QPG



Εικόνα 3.29 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak2-QPG

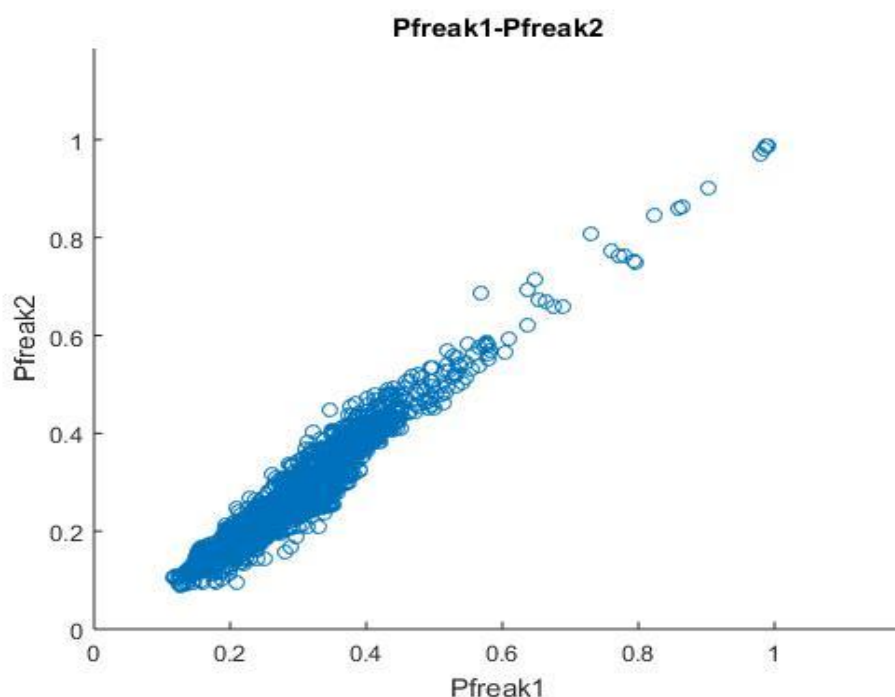


Εικόνα 3.30 Διάγραμμα μεταβολής avgkritiroA1-avgQPGA1

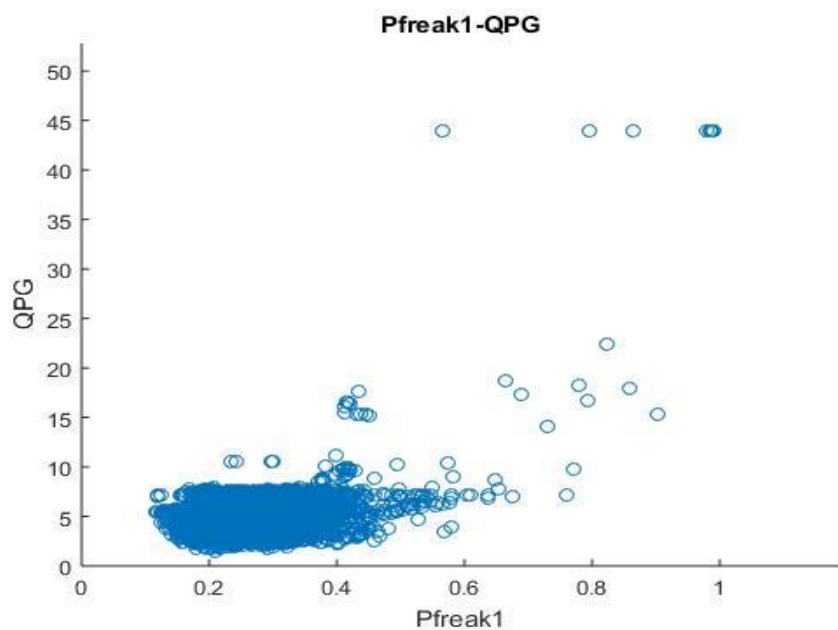
Στο έβδομο σημείο με συντεταγμένες (20.00,39.00) παρουσιάζονται τα παρακάτω αποτελέσματα:

kritirio1	kritirio2	avrQPGA1	avrQPGA2	avrQPGB1	avrQPGB2	avrA1	avrA2	avrB1	avrB2	avrkritirioA1	avrkritirioA2	avrkritirioB1	avrkritirioB2
0.15	0.15	5.187793	5.212183	4.86689	4.553365	0.272947	0.25191	0.139362	0.132134	0.45367603	0.468213801	0	0.000131752
0.2	0.2	4.656787	4.290796	4.812825	4.768658	0.252818	0.21817	0.178201	0.168097	0.41709504	0.386618936	0.004204357	0.005006588
0.25	0.25	3.425019	2.377928	4.974763	5.024411	0.197218	0.134109	0.21153	0.204631	0.26371787	0.17195408	0.01095681	0.009749671
0.3	0.3	1.486995	0.946754	5.096399	5.105579	0.0955	0.060994	0.242901	0.22488	0.09503885	0.074682138	0.006497643	0.003689065
0.35	0.35	0.54829	0.42796	5.085674	5.099243	0.035813	0.028108	0.258579	0.234863	0.04148237	0.03579805	0.002038476	0.002898551
0.4	0.4	0.227757	0.227727	5.100647	5.110471	0.013565	0.014326	0.265392	0.239873	0.01087866	0.010492532	0.001656262	0.001317523
0.45	0.45	0.115537	0.129821	5.125046	5.12896	0.006335	0.007889	0.268051	0.242528	0.00227137	0.003826688	0.000382214	0.000527009
0.5	0.5	0.092743	0.097644	5.12761	5.12763	0.004456	0.004808	0.268869	0.243969	0.00119546	0.001481299	0.000127405	0.000263505
0.55	0.55	0.075742	0.075103	5.131101	5.135308	0.003072	0.003326	0.269542	0.244728	0.00011955	0.000370325	0.000127405	0.000131752

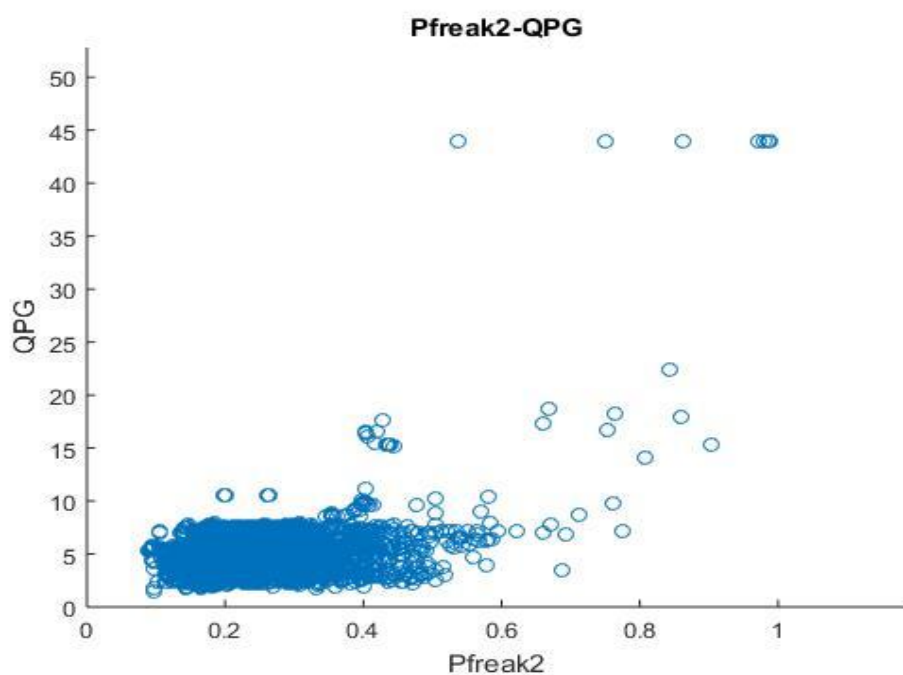
Εικόνα 3.31 Συγκεντρωτικός πίνακας μεταβλητών



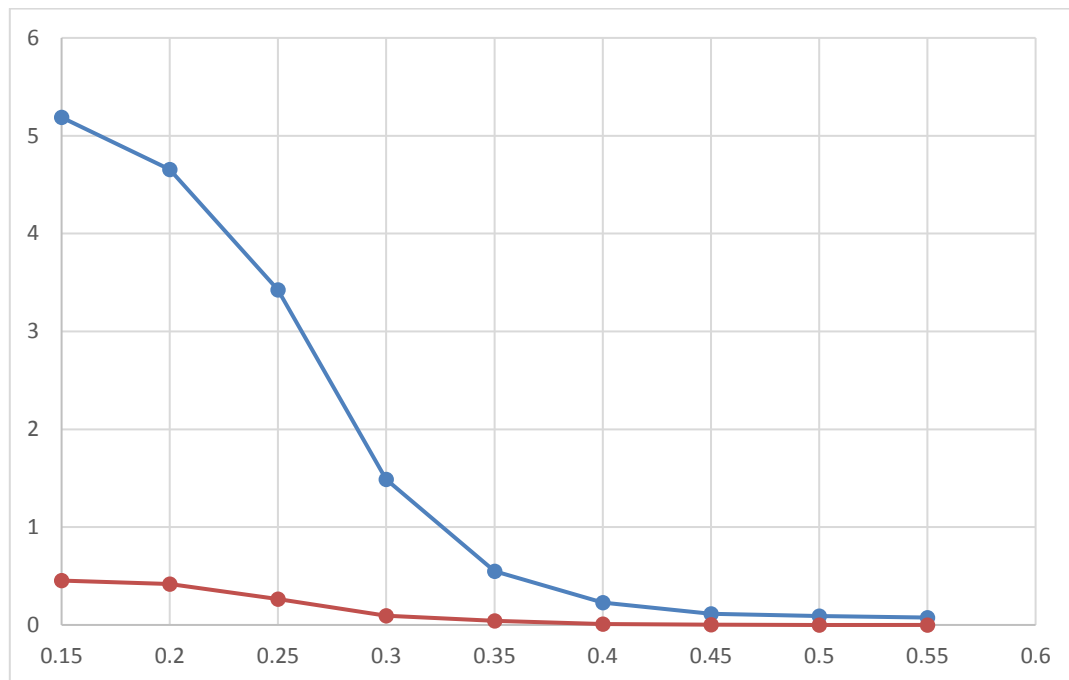
Εικόνα 3.32 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak1-Pfreak2



Εικόνα 3.33 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak1-QPG



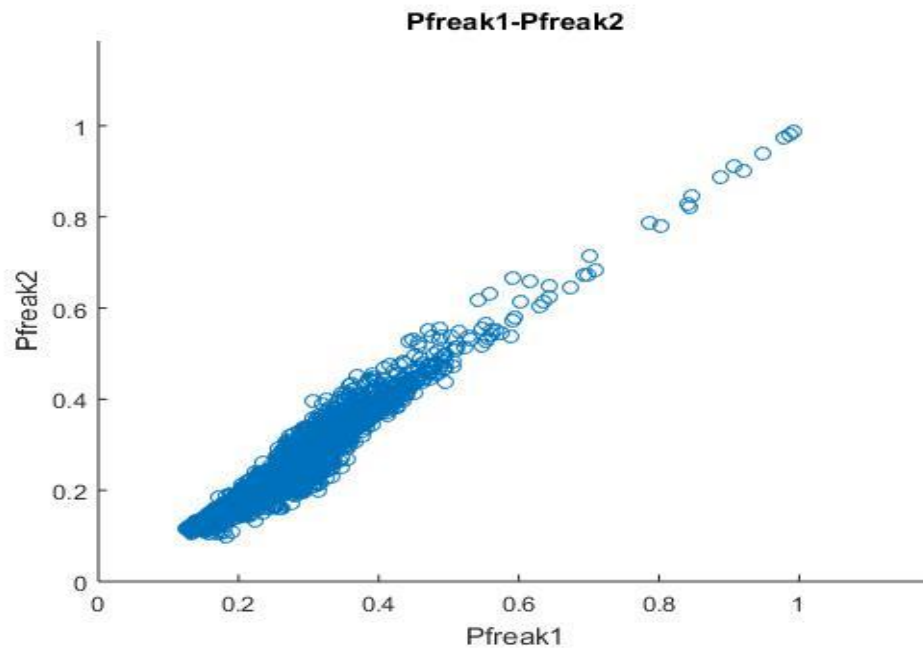
Εικόνα 3.34 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak2-QPG



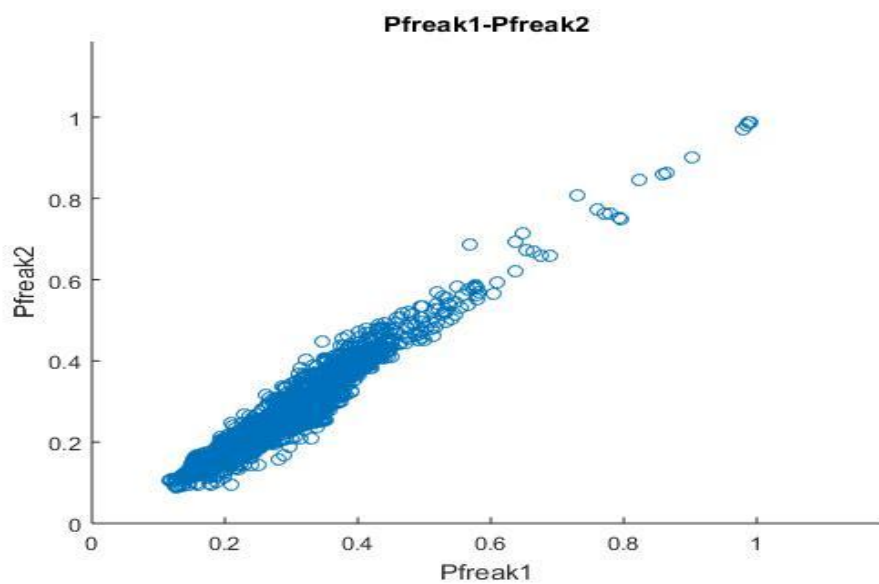
Εικόνα 3.35 Διάγραμμα μεταβολής avgkritiroA1-avgQPGA1

§2. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα από τα αποτελέσματα για τα επτά επιλεγμένα σημεία. Αρχικά παρατηρώντας τις γραφικές απεικονίσεις του Pfreak1-Pfreak2 για όλες ξεχωριστά σε κάθε μια περίπτωση παρατηρείται ότι υπάρχει απόλυτη συσχέτιση των δυο μεγεθών και ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης πλησιάζει την τιμή 1 με πολύ μικρές αποκλίσεις. Συνεπώς καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι σαν δείκτη εμφάνισης των γιγαντιαίων κυμάτων μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα από τα δύο μεγέθη. Εμείς θα επιλέξουμε το Pfreak1 στο οποίο έχουμε υπολογίσει τον αριθμό N από την μέση συχνότητα και σε αυτό υπάρχει η διαφοροποίηση με το Pfreak2 στο οποίο ο αριθμός κυμάτων έχει υπολογιστεί από την ακραία συχνότητα. Αυτή η γραμμική συσχέτιση αποδεικνύεται στις παρακάτω γραφικές που προέκυψαν από τα παραπάνω δεδομένα.

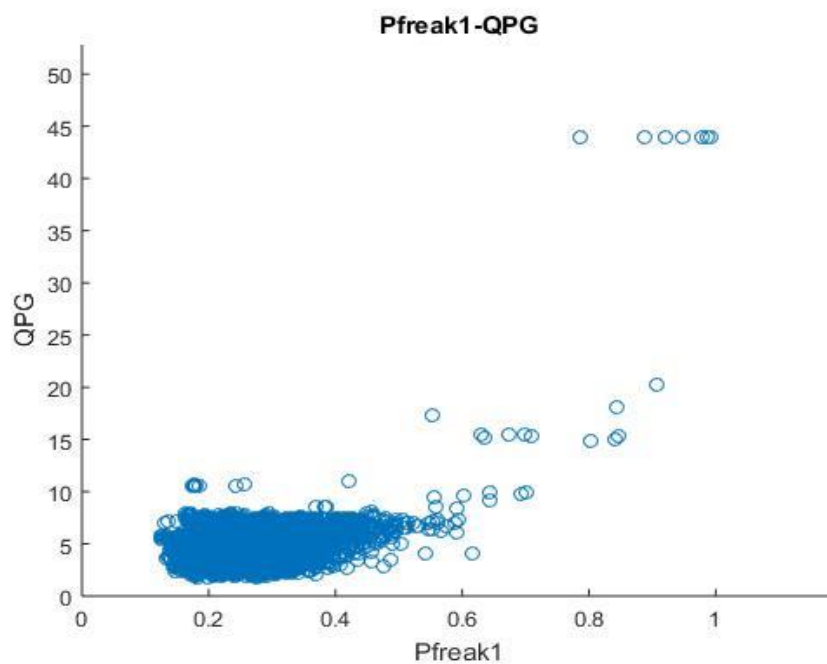


Εικόνα 3.36 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak1-Pfreak2

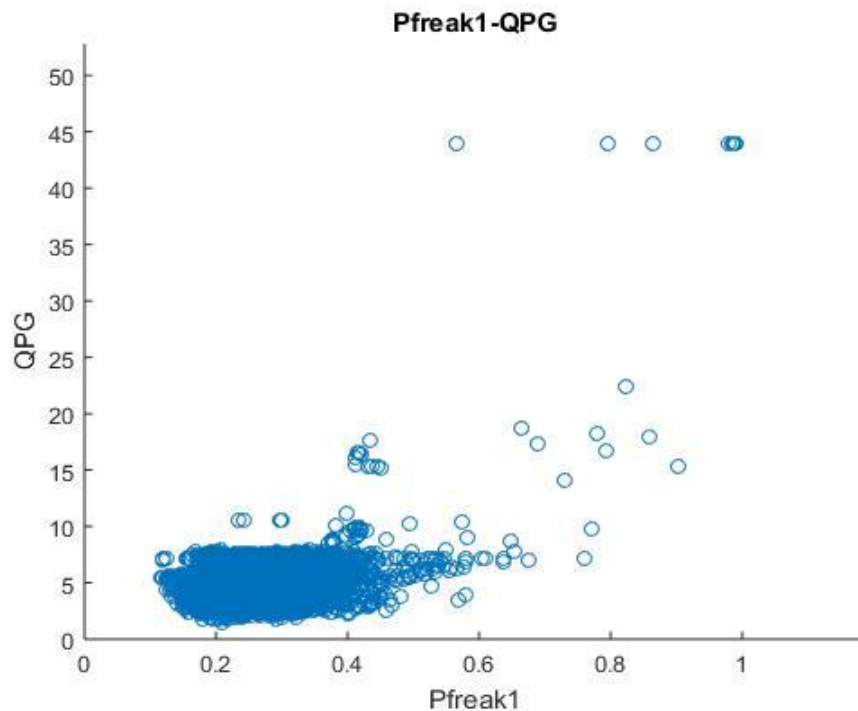


Εικόνα 3.37 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak1-Pfreak2

Ένα ακόμα συμπέρασμα το οποίο επιβεβαιώνει την αρχική μας θέση για τους δείκτες που θα χρησιμοποιήσουμε στο επόμενο κεφάλαιο για την στατιστική μας μελέτη προκύπτει από τα διαγράμματα του Pfreak1-QPG στα οποία δεν παρατηρείται καμία απολύτως συσχέτιση οπότε μπορούμε το QPG να τον ορίσουμε ως έναν ανεξάρτητο δείκτη. Τα παρακάτω διαγράμματα αποδεικνύουν ακριβώς αυτό:

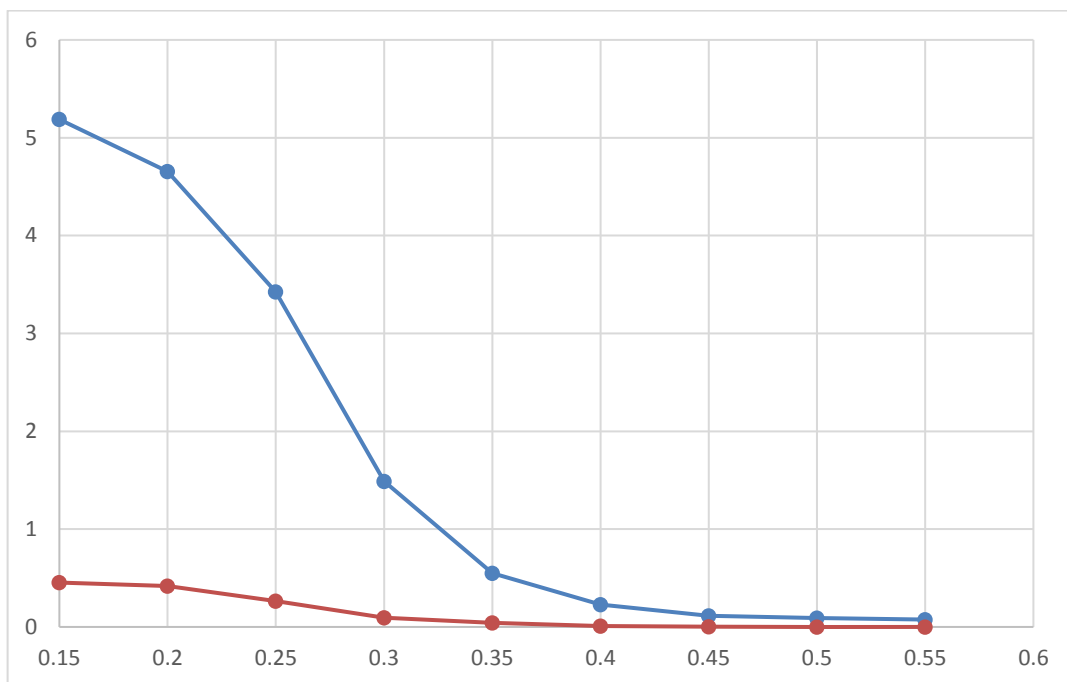


Εικόνα 3.38 Διάγραμμα συσχέτισης Pfake1-QPG

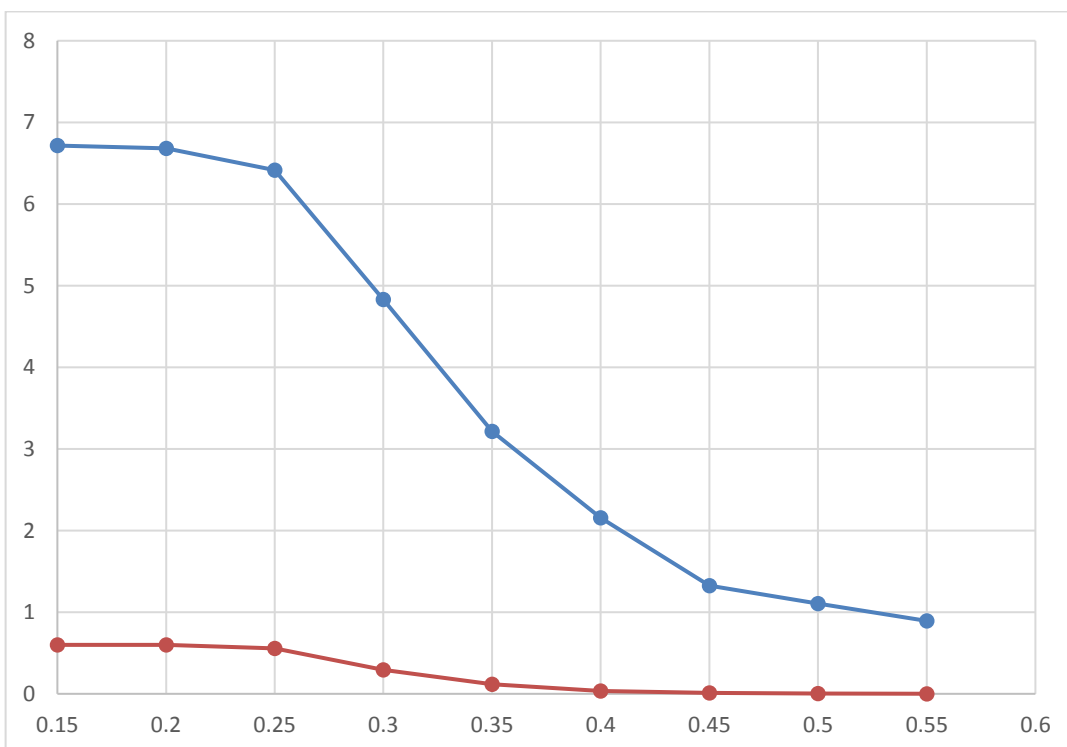


Εικόνα 3.39 Διάγραμμα συσχέτισης Pfreak1-QPG

Τέλος θα πρέπει να εξηγήσουμε ποιό από τα κριτήρια που έχουμε χρησιμοποιήσει (0,1...0,55) θα χρησιμοποιηθεί στους τελικούς δείκτες. Όπως έχουμε εξηγήσει και πιο πάνω στο κομμάτι του κώδικα το `kritirio1` αναφέρεται στον λόγο του σημαντικού ύψους κύματος προς το σημαντικό ύψος κύματος το οποίο θέλουμε να ξεπερνά την τιμή 2 και έχουμε παράλληλα κατασκευάσει τους πίνακες A1 και B1. Ο πίνακας A1 περιλαμβάνει τα δεδομένα για τα οποία το Pfreak1 ξεπερνά το αντίστοιχο κριτήριο διαφορετικά το δεδομένο αυτό θα καταχωρηθεί στον πίνακα B1. Στην συνέχεια υπολογίζουμε για τον πίνακα A1 και B1 τους πίνακες QPGA1, QPGB1, `kritirioA1`, `kritirioB1`, οι οποίοι έχουν σαν δεδομένα τους τις αντίστοιχες τιμές του QPG και του `kritirio1`. Χρειάστηκε να υπολογίσουμε και τις μέσες τιμές των πινάκων τις παρουσιάσαμε με βάση τα κριτήρια μας σε γραφικές απεικονίσεις.



Εικόνα 3.40 Διάγραμμα μεταβολής avgkritiroA1-avgQPGA1



Εικόνα 3.41 Διάγραμμα μεταβολής avgkritiroA1-avgQPGA1

Παρατηρούμε από τα παραπάνω διαγράμματα όπως και από τα διαγράμματα των υπόλοιπων σημείων του χάρτη μας ότι μετά το κριτήριο 0,3-0,35 οι μεταβλητές μας σχεδόν τείνουν στο μηδέν, επομένως μπορούμε να θεωρήσουμε τις τιμές αυτές του κριτηρίου σαν όριο.

Συνεπώς έχουμε καταλήξει σε τρεις βασικούς δείκτες με τους οποίους θα συσχετίσουμε την πιθανότητα εμφάνισης ενός freak wave. Συγκεντρωτικά λοιπόν, οι τρεις δείκτες που θα συντελέσουν στην στατιστική μελέτη και ανάλυση των επτά σημείων του ελλαδικού χώρου που απεικονίζονται στον χάρτη μας είναι:

α) Το **Pfreak1**

Ο δείκτης αυτός μας δίνει την πιθανότητα εμφάνισης των γιγαντιαίων κυμάτων σύμφωνα με τη σχέση:

$$P_{\text{freak}} = 1 - \exp[-\beta N(1 + 8\kappa_{40})],$$

β) Το **QPG**

Ο δείκτης αυτός είναι η μέση τιμή του μέτρου της κυρτότητας.

γ) Ο λόγος **$H_{\max}/H_s > 2$ (kritirio1)** με κριτήριο τα ποσοστά **30-35%**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΕΛΛΑΔΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

§1. ΕΦΑΡΜΟΓΗ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Χρησιμοποιούμε τους δείκτες που προσδιορίστηκαν στην προηγούμενη Ενότητα για τον χαρακτηρισμό των περιοχών ως προς την επικινδυνότητά τους και ως προς την πιθανότητα εμφάνισης γιγαντιαίων κυμάτων.

Οι δείκτες που χρησιμοποιούνται και είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους, χωρίς καμία συσχέτιση είναι:

- **AvgPfreak1**

Ο δείκτης αυτός μας δίνει τη μέση τιμή (avg) της πιθανότητας Pfreak1, η οποία είναι η πιθανότητα εμφάνισης των γιγαντιαίων κυμάτων σύμφωνα με τη σχέση:

$$P_{\text{freak}} = 1 - \exp[-\beta N(1 + 8\kappa_{40})],$$

- **AvgQPG**

Ο δείκτης αυτός μας δίνει τη μέση τιμή (avg) του βαθμού συγκέντρωσης της φασματικής ανάλυσης (spectral peakdness). Αποτελεί μέση τιμή του μέτρου της κυρτότητας.

- **Κριτήριο 1 (AvgkritirioA1)**

Ο δείκτης αυτός μας δίνει τη μέση τιμή του κριτηρίου 1 για τον πίνακα A1 ο οποίος παίρνει τις τιμές του Pfreak1 που ξεπερνούν το 0,3 ή το 0,35 που έχουμε ορίσει ως όριο.

Οι παραπάνω δείκτες έχουν αναπτυχθεί εκτενώς στο Κεφάλαιο 3.

Τα σημεία – περιοχές με βάση αυτήν την ανάλυση κατατάσσονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Μικρής Επικινδυνότητας (Πράσινη περιοχή)
- Μέτριας Επικινδυνότητας (Κίτρινη περιοχή)
- Υψηλής Επικινδυνότητας (Κόκκινη περιοχή)

Στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δεικτών για τα επτά σημεία του Ελλαδικού χώρου καθώς και η επικινδυνότητα του κάθε σημείου η οποία έχει αποφασιστεί με συνυπολογισμό των τιμών των τριών δεικτών, συνεπώς με βάση τα παραπάνω είναι:

Περιοχή	Συντεταγ μένες	avgPfreak1	avgQPG	Κριτήριο 1		Επικινδυνότητα σημείου
				0,3	0,35	
Πάργα	20,39	0,2714	5,1842	0,0415	0,0109	Μέτρια
Κάσος	26.5,35.5	0,2919	4,6421	0,1204	0,0257	Υψηλή
Αμοργός	26,37	0,2849	5,2696	0,0477	0,0078	Μέτρια
Σκύρος	25,39	0,3357	6,7159	0,1191	0,0346	Υψηλή
Κύθηρα	23,36	0,2675	4,7880	0,0671	0,017	Μικρή
Δυτική Κρήτη	23,35	0,2729	4,7852	0,0776	0,0126	Μικρή
Μεθώνη	21,37	0,2746	4,8326	0,0704	0,0131	Μικρή

Εικόνα 4.1 Συγκεντρωτικός πίνακας επικινδυνότητας των σημείων

§2. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τον παραπάνω συγκεντρωτικό πίνακα, παρατηρείται υψηλή πιθανότητα εμφάνισης γιγάντιων κυμάτων στην περιοχή της Κάσου και της Σκύρου. Οι δείκτες και στις δυο θέσεις έχουν μέγιστες τιμές σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές. Οι συγκεκριμένες γεωγραφικές θέσεις ευνοούν την εμφάνιση γιγαντιαίων κυμάτων. Καθοριστικό ρόλο παίζει τόσο η συμβολή όσο και η διεύθυνση των ανέμων στις συγκεκριμένες τοποθεσίες. Να προστεθεί ότι τα σημεία αυτά παρουσιάζουν υψηλή επικινδυνότητα καθώς βρίσκονται εντός των περιοχών συγκέντρωσης μελετεμιών.

Ακολουθως οι περιοχές μέτριας επικινδυνότητας είναι η περιοχή της Πάργας και της Αμοργού με τις τιμές των δεικτών να είναι παραπλήσιες και στα δυο σημεία. Τέλος στα Κύθηρα, στην Δυτική Κρήτη και στην Μεθώνη η πιθανότητα εμφάνισης γιγαντιαίων κυμάτων είναι αρκετά μικρή. Με βάση αυτά κατασκευάσαμε έναν συγκεντρωτικό χάρτη με συγκεκριμένους χρωματισμούς ανάλογα με την επικινδυνότητα των σημείων:



Εικόνα 4.2 Χάρτης επικινδυνότητας περιοχών εφαρμογής

Βιβλιογραφία

1. A. I. Dyachenko and V. E. Zakharov, Pis'ma Zh. Eksp. Teor. Fiz. 88, 356 (2008) [JETP Lett. 88, 307 (2008)].
2. A. I. Dyachenko, Dokl. Math. 63, 115 (2001).
3. Aristotelis Liakatas, George Galanis, Christina Kalogeri, and George Kallos, Wave power estimation by means of spectral wave models and satellite records, Journal of Operational Oceanography, 2017, DOI: 10.1080/1755876X.2017.1289011.
4. Bitner-Gregersen, E. M. & Hagen, Ø. Freak Wave Events within the 2nd Order Wave Model. Proc.OMAE, June 20-25 2004 Vancouver, Canada.
5. Bitner-Gregersen, E. M. & Magnusson, A. K. 2014. Effect of Intrinsic an Sampling Variability on Wave Parameters and Wave Statistics. Ocean Dynamics, 64(11), 1643-1655.
6. Bitner-Gregersen, E. M. & Toffoli, A. Wave Steepness and Rogue Waves in the Changing Climate in the North Atlantic. Proc. OMAE, May 31 -June 5 2015 St. John's, Newfoundland, Canada.
7. Bitner-Gregersen, E. M. and Hagen, Ø.: Freak wave events within the second order wave model, in: Proc. 23th Int. Conf. on Off-shore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE), Vancouver, Canada, 2004.
8. Bitner-Gregersen, E. M. Sea State Duration and Probability of Occurrence of a Freak Crest. Proc. OMAE, 2003 Cancun, Mexico.
9. Chabchoub, A., Hoffmann, N. P. & Akhmediev, N. 2011. Rogue Wave Observation in a Water Wave Tank. Phys. Rev. Lett., 106, 204502---204502.
10. D. Clamond and J. Grue, C. R. Mecanique 330, 575 (2002).
11. Dysthe, K., Krogstad, H. E., and Müller, P.: Oceanic rogue waves, Annu. Rev. Fluid Mech., 40, 287–310, doi:10.1146/annurev.fluid.40.111406.102203, 2008.

12. Forristall, G.: Wave crests distributions: observations and second order theory, J. Phys. Ocean., 30, 1931–1943, 2000.
13. G. Galanis, G. Emmanouil, P.C. Chu and G. Kallos, A new methodology for the extension of the impact of data assimilation on ocean wave prediction, Ocean Dynamics, Volume 59, Issue3 (2009), pp. 523-535.
14. G. Galanis, P.C. Chu and G. Kallos, Statistical post processes for the improvement of the results of numerical wave prediction models. A combination of Kolmogorov-Zurbenko and Kalman filters, Journal of Operational Oceanography, Vol 4 (1), 2011, pp. 23-31.
15. G. Zodiatis, G. Galanis, A. Nikolaidis, C. Kalogeri, D. Hayes, G. Georgiou, P.C. Chu, and G. Kallos, Wave Energy Potential in the Eastern Mediterranean Levantine Basin. An integrated 10-year study, Renewable Energy, 69 (2014), pp. 311–323 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.03.051>).
16. George Galanis, Peter C. Chu, George Kallos, Yu-Heng Kuo and C.T.J. Dodson, Wave Height Characteristics in the North Atlantic Ocean: a new approach based on statistical and geometrical techniques, Stoch Environ Res Risk Assess (2012) 26:83–103, DOI 10.1007/s00477-011-0540-2.
17. George Zodiatis, George Galanis, George Kallos, Andreas Nikolaidis, Christina Kalogeri, Aristotelis Liakatas and Stavros Stylianou, The impact of sea surface currents in wave power potential modelling, Ocean Dynamics, Ocean Dynamics (2015) 65:1547–1565, DOI: 10.1007/s10236-015-0880-4.
18. Guedes Soares, C., Cherneva, Z., and Antˆao, E.: Abnormal waves during Hurricane Camille, J. Geophys. Res., 109, C08008,
19. Hasselmann, K. (1962). On the nonlinear energy transfer in gravity-wave spectrum. I. General theory. Journal of Fluid Mechanics 12, 481–500.

20. Haver, S. & Anderson, O. J. Freak Waves: Rare Realizations of a Typical Population or Typical Realizations of a Rare Population. Proceedings of the 10th International Offshore and Polar Engineering (ISOPE) Conference, 28 May- 2 June 2000 Seattle
21. Haver, S. Evidences of the Existence of Freak Waves Proc. Rogue Waves, 2000. Ifremer, 129-140.
22. Ioannis Famelis, Georgios Galanis, Matthias Ehrhardt and Dimitrios Triantafyllou, Classical and Quasi-Newton methods for a Meteorological Parameters Prediction Boundary Value Problem, Applied Mathematics & Information Sciences, 8, No. 6, 2683-2693 (2014).
23. Janssen, Peter A. E. M., 2003, Nonlinear four-wave interactions and freak waves. J. Phys. Oceanogr. 33, 863-884.
24. K. B. Dysthe, Proc. R. Soc. London A 369, 105 (1979).
25. K. Trulsen and K. B. Dysthe, Waves Motion 24, 281 (1996).
26. Mori, N. and Janssen, P. A. E. M.: On kurtosis and occurrence probability of freak waves, J. Phys. Ocean., 36, 1471–1483, 2006.
27. Mori, N. and P. Janssen (2006). On kurtosis and occurrence probability of freak waves. Journal of Physical Oceanography 36(7), 1471–1483.
28. Mori, N., Liu, P. C., and Yasuda, T.: Analysis of freak wave measurements in the Sea of Japan, Ocean Eng., 29, 1399–1414, 2002.
29. Mori, N., Onorato, M. & Janssen, P. A. E. M. 2011. On the Estimation of the Kurtosis in Directional Sea States for Freak Wave Forecasting. J. Phys. Oceanogr., 41, 1484-1497.
30. Ocean, Advances in Geophysical and Environmental Mechanics and Mathematics, Springer, Berlin, 2009.

31. Osborne, A., Onorato, M. & Serio, M. (2000). The nonlinear dynamics of rogue waves and holes in deep water gravity wave trains. *Phys. Lett. A*, vol. 275, 386-393.
32. Rosenthal, W. (2006). Freak Waves: Tracking down the secret of the giant waves. Retrieved May, 3, 2006, from http://www.helmholtz.de/en/Research_Fields/Transport_and_Space/INSIGHT.html
33. S. V. Manakov, *JETP Lett.* 25, 533 (1977).
34. T. R. Akylas, *J. Fluid Mech.* 198, 387 (1989).
35. T. R. Akylas, *J. Fluid Mech.* 224, 417 (1991).
36. Toffoli A., J.M. Lefevre, J. Monbaliu, H. Savina, E. Bitner- Gregersen, 2003, *Freak Waves: Clues for Prediction in Ship Accidents?*, Proc of the ISOPE 2003, Hawaii
37. V. E. Zakharov and A. I. Dyachenko, *Eur. J. Mech. B: Fluids*, Online Publ. Nov. 5, 2009.
38. V. E. Zakharov, A. I. Dyachenko, and A. O. Prokofiev, “Freak Waves: Peculiarities of Numerical Simulations,” in *Extreme Ocean Waves*, Ed. by E. Pelinovsky and C. Harif (Springer, Berlin, 2008).
39. V. E. Zakharov, A. I. Dyachenko, and A. O. Prokofiev, *Eur. J. Mech. B: Fluids* 25, 677 (2006).
40. V. E. Zakharov, A. I. Dyachenko, and O. A. Vasilyev, *Eur. J. Mech. B: Fluids* 21, 283 (2002).
41. V. E. Zakharov, *J. Appl. Mech. Tech. Phys.* 9, 190(1968).
42. Yasuda, T. and N. Mori (1997). Occurrence properties of giant freak waves the sea area around Japan. *J. Waterway, Port, Coast. and Ocean Eng.* 123(4), 209–213.
43. Yasuda, T., N. Mori, and S. Nakayama (1997). Characteristics of giant freak waves observed in the Sea of Japan. In *Waves97*, Virginia, VA, pp. 482–495.