

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΤΟΝ ΑΡΧΑΙΟ

ΛΙΜΕΝΑ ΤΗΣ ΜΕΘΩΝΗΣ

υπό

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟ ΒΑΒΑΚΑ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

2019

© 2019 Κωνσταντίνος Βαβάκας

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) Δρ. Βασιλική Κατσαρδή
Επίκουρος Καθηγήτρια, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Θεοφάνης Γραμμένος
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Νικήτας Μυλόπουλος
Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας οφείλω να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου, κα. Βασιλική Κατσαρδή, για την ανάθεση της εργασίας, καθώς και για την αμέριστη βοήθεια και συνεχή καθοδήγησή της καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Μιχάλη Χονδρό, διδάκτορα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για τη βοήθεια και επεξήγηση της χρήσης του αριθμητικού μοντέλου της παρούσας διπλωματικής. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου για τη στήριξη και ενθάρρυνση που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Ευτυχία και Αντώνη, που πίστεψαν στις δυνατότητες μου και στηρίζουν διαρκώς κάθε μου προσπάθεια.

Με εκτίμηση,

Κωνσταντίνος Βαβάκας

Βόλος, Φεβρουάριος 2019

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Αντικείμενο και σκοπός της διπλωματικής εργασίας	1
1.2 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας	1
2. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ	2
2.1 Γένεση Ανεμογενών Κυματισμών	2
2.2 Αριθμητικά μοντέλα.....	3
2.2.1 Εισαγωγή του πεδίου στα αριθμητικά μοντέλα.....	3
2.2.2 Αλληλεπίδραση κυματισμών-ρευμάτων στα αριθμητικά μοντέλα	4
2.2.3 Αλληλεπίδραση κυματισμών-ατμόσφαιρας	5
2.2.4 Μη γραμμικότητα στα ρηχά νερά	5
2.2.5 Απόσβεση λόγω διεπαφής κυματισμών με τον πυθμένα	6
2.2.6 Διάδοση Κυματισμών	7
2.3 Τα Αριθμητικά Μοντέλα του Σήμερα.....	9
3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ MIKE 21	10
3.1 Εισαγωγή στα εργαλεία και ρουτίνες του προγράμματος	10
3.2 Περιγραφή των εργαλείων του MIKE	11
3.2.1 Περιγραφή του εργαλείου Image Rectifier	11
3.2.2 Περιγραφή των εργαλείων Bathymetry Editor και Mesh Generator	12
3.2.2.1 Bathymetry Editor	12
3.2.2.2 Mesh Generator	13
3.3 Περιγραφή της υπορουτίνας MIKE 21 Spectral Waves FM (MIKE SW)	14
3.3.1 Γενική εισαγωγή στο μοντέλο	14
3.3.2 Βασικές εξισώσεις του μοντέλου	15
3.3.3 Εφαρμογή και καθορισμός παραμέτρων εισόδου στο MIKE 21 SW	17
3.3.3.1 Γενικές ρυθμίσεις	17
3.3.3.2 Παράμετροι για το Spectral Wave Module	19
3.4 Περιγραφή της υπορουτίνας MIKE 21 Flow Model FM – Hydrodynamic Module	27
3.4.1 Γενική εισαγωγή στο μοντέλο	27
3.4.2 Βασικές εξισώσεις του μοντέλου	28

3.4.3 Εφαρμογή και καθορισμός παραμέτρων εισόδου στο MIKE 21 Flow Model FM – Hydrodynamic module	30
3.4.3.1 Γενικές ρυθμίσεις	31
3.4.3.2 Παράμετροι για το Flow Model FM – Hydrodynamic Module	32
3.5 Περιγραφή της υπορουτίνας MIKE 21 Flow Model FM – Sand Transport Module	38
3.5.1 Γενική εισαγωγή στο μοντέλο	38
3.5.2 Βασικές εξισώσεις του μοντέλου	38
3.5.3 Εφαρμογή και καθορισμός παραμέτρων εισόδου στο MIKE 21 Flow Model FM – Sand Transport module	42
3.5.3.1 Παράμετροι για το Flow Model FM – Sand Transport Module.....	43
4.ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	46
4.1 Ιστορική Αναδρομή.....	50
4.2 Ανεμολογικά Δεδομένα Μεθώνης	50
4.3 Επιλογή Κατευθύνσεων Ανέμων	54
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	64
5.1 Αποτελέσματα από το μοντέλο MIKE 21	64
5.1.1 Αποτελέσματα για Νότιο Άνεμο	66
5.1.1.1 Αποτελέσματα για Νότιο άνεμο έντασης 4 Μποφόρ	66
5.1.1.2 Αποτελέσματα για Νότιο άνεμο έντασης 5 Μποφόρ	75
5.1.1.3 Αποτελέσματα για Νότιο άνεμο έντασης 6 Μποφόρ	78
5.1.2 Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο	81
5.1.2.1 Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο έντασης 4 Μποφόρ	82
5.1.2.2 Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο έντασης 5 Μποφόρ	90
5.1.2.4 Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο έντασης 6 Μποφόρ.....	93
5.1.2.4 Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο έντασης 7 Μποφόρ	96
5.1.2.5 Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο έντασης 8 Μποφόρ	99
5.1.3 Αποτελέσματα για Νοτιοδυτικό άνεμο	107
5.1.3.1 Αποτελέσματα για Νοτιοδυτικό άνεμο έντασης 4 Μποφόρ	107
5.1.3.2 Αποτελέσματα για Νοτιοδυτικό άνεμο έντασης 5 Μποφόρ.....	115
5.1.3.3 Αποτελέσματα για Νοτιοδυτικό άνεμο έντασης 6 Μποφόρ.....	118
5.1.3.4 Αποτελέσματα για Νοτιοδυτικό άνεμο έντασης 7 μποφόρ	121
5.1.4 Σύνοψη αποτελεσμάτων.....	124
5.1.4.1 Αποτέλεσμα για Νότιο άνεμο	124

5.1.4.2	Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο	125
5.1.4.3	Αποτέλεσμα για Νοτιοδυτικό άνεμο	126
5.2	Αποτελέσματα για Εναλλακτικό Σενάριο-Πρόταση από το μοντέλο MIKE 21	127
5.2.1	Αποτελέσματα για Νότιο άνεμο	127
5.2.1.1	Αποτελέσματα για Νότιο άνεμο έντασης 5 Μποφόρ	127
5.2.1.2	Αποτελέσματα για Νότιο άνεμο 6 Μποφόρ	130
5.2.2	Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο	133
5.2.2.1	Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο έντασης 5 Μποφόρ	133
5.2.2.2	Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο έντασης 6 Μποφόρ	136
5.2.2.3	Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο έντασης 7 Μποφόρ	139
5.2.2.4	Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο έντασης 8 Μποφόρ	142
5.2.3	Αποτελέσματα για Νοτιοδυτικό άνεμο	147
5.2.3.1	Αποτελέσματα για Νοτιοδυτικό άνεμο έντασης 5 Μποφόρ	147
5.2.3.2	Αποτελέσματα για Νοτιοδυτικό άνεμο έντασης 6 Μποφόρ	150
5.2.3.3	Αποτελέσματα για Νοτιοδυτικό άνεμο έντασης 7 Μποφόρ	153
5.2.4	Σύνοψη αποτελεσμάτων	156
5.2.4.1	Αποτέλεσμα για Νότιο άνεμο	156
5.2.4.2	Αποτέλεσμα για Δυτικό άνεμο	156
5.2.4.3	Αποτέλεσμα για Νοτιοδυτικό άνεμο	158
5.3	Αποτελέσματα με χρήση εμπειρικών εξισώσεων σε περιβάλλον Matlab	159
5.3.1	Αποτελέσματα για Νότιο άνεμο	163
5.3.2	Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο	163
5.3.3	Αποτελέσματα για Νοτιοδυτικό άνεμο	163
6.	Συμπεράσματα – Προτάσεις	164
6.1	Συμπεράσματα	164
6.2	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	166
	Βιβλιογραφικές Αναφορές	167
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	168

Πίνακας 1	Πιθανότητα εμφάνισης ανέμου στη Μεθώνη(ΕΜΥ).....	54
Πίνακας 2	Αναλυτικός υπολογισμός Feff για τον άνεμο 270°	57
Πίνακας 3	Αναλυτικός υπολογισμός Feff για τον άνεμο 270°.....	58
Πίνακας 4	Αναλυτικός υπολογισμός Feff για τον άνεμο 270°.....	58
Πίνακας 5	Αναλυτικός υπολογισμός Feff για 180°	60
Πίνακας 6	Αναλυτικός υπολογισμός Feff για 180°	61
Πίνακας 7	Αναλυτικός υπολογισμός Feff για 180°	61
Πίνακας 8	Αναλυτικός υπολογισμός Feff για 225°	62
Πίνακας 9	Αναλυτικός υπολογισμός Feff για 225°	63
Πίνακας 10	Αναλυτικός υπολογισμός Feff για 225°	63
Πίνακας 11	Ετήσια συχνότητα εμφάνισης	64
Πίνακας 12	Ετήσια στερεομεταφορά για Νότιο άνεμο	124
Πίνακας 13	Ετήσια στερεομεταφορά για Δυτικό άνεμο	125
Πίνακας 14	Ετήσια στερεομεταφορά για Νοτιοδυτικό άνεμο	126
Πίνακας 15	Ετήσια στερεομεταφορά για Νοτιο άνεμο (Σενάριο)	156
Πίνακας 16	Ετήσια στερεομεταφορά για Δυτικό άνεμο (Σενάριο)	157
Πίνακας 17	Ετήσια στερεομεταφορά για Νότιοδυτικό άνεμο (Σενάριο)	158
Πίνακας 18	Αποτελέσματα για Νότιο άνεμο - Εμπειρικές.....	163
Πίνακας 19	Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο – Εμπειρικές	163
Πίνακας 20	Αποτελέσματα για Νοτιοδυτικό άνεμο - Εμπειρικές.....	163

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Απεικόνιση γραμμικού (διακεκομμένη γραμμή) και μη γραμμικού κύματος (συνεχής γραμμή) (T Karampas - 2015).....	6
Εικόνα 2 Airy-Stokes-Cnoidal-Solitary Waves (linger.springer.com)	8
Εικόνα 3 Διάδοση κυματισμού από τα βαθιά σε ρηχά νερά (geo.hunter.cuny.edu)	9
Εικόνα 4 Εικόνα από το εγχειρίδιο του προγράμματος	11
Εικόνα 5 Περιβάλλον χρήσης του Image Rectifier από την παρούσα εργασία	12
Εικόνα 6 Βαθυμετρία της Μεθώνης με χρήση του εργαλείου Bathymetry Editor	13
Εικόνα 7 Αποτέλεσμα του Mesh Generator στην περιοχή μελέτης.....	14
Εικόνα 8 Συνηθισμένες περιπτώσεις εφαρμογής του μοντέλου (εικόνα εγχειριδίου) .	15
Εικόνα 9 Δενδροδιάγραμμα των ρυθμίσεων του προγράμματος MIKE 21 SW.....	17
Εικόνα 10 Καρτέλα domain προγράμματος MIKE 21 SW	18
Εικόνα 11 Καρτέλα Time προγράμματος MIKE 21 SW	19
Εικόνα 12 Καρτέλα Basic equations του προγράμματος MIKE 21 SW	20
Εικόνα 13 Directional discretization για φάσμα από 135 έως 45 μοίρες	21
Εικόνα 14 Καρτέλα Spectral Discretization του προγράμματος MIKE 21 SW.....	21
Εικόνα 15 Καρτέλα Solution technique του προγράμματος MIKE 21 SW	22
Εικόνα 16 Καρτέλα Wind forcing του προγράμματος MIKE 21 SW	23
Εικόνα 17 Καρτέλα Wave breaking του προγράμματος MIKE 21 SW	24
Εικόνα 18 Καρτέλα Bottom Friction του προγράμματος MIKE 21 SW	25
Εικόνα 19 Καρτέλα Boundary Conditions του προγράμματος MIKE 21 SW	26
Εικόνα 20 Καρτέλα Outputs του προγράμματος MIKE 21 SW.....	27
Εικόνα 21 Δενδροδιάγραμμα του προγράμματος MIKE 21 Flow Model FM - Hydrodynamic	30
Εικόνα 22 Καρτέλα Domain του προγράμματος MIKE 21 Flow Model FM - Hydrodynamic	31
Εικόνα 23 Καρτέλα Time του προγράμματος MIKE 21 Flow Model FM – Hydrodynamic	32
Εικόνα 24 Καρτέλα Solution Technique του μοντέλου MIKE 21 Flow Model FM-Hydrodynamic	32
Εικόνα 25 Καρτέλα Flood and Dry του μοντέλου MIKE 21 Flow Model FM-Hydrodynamic	33
Εικόνα 26 Καρτέλα Density του μοντέλου MIKE 21 Flow Model FM – Hydrodynamic	34
Εικόνα 27 Καρτέλα Eddy Viscosity του μοντέλου Flow Model FM – Hydrodynamic	34
Εικόνα 28 Καρτέλα Bed Resistance του μοντέλου Flow Model FM – Hydrodynamic	35
Εικόνα 29 Καρτέλα Wave Radiation του μοντέλου Flow Model FM – Hydrodynamic	36
Εικόνα 30 Καρτέλα Boundary Conditions του μοντέλου MIKE 21 Flow Model FM - Hydrodynamic	37
Εικόνα 31 Καρτέλα Outputs του μοντέλου Flow Model FM - Hydrodynamic	37

Εικόνα 32 Δενδροδιάγραμμα του μοντέλου MIKE 21 Flow Model FM – Sand Transport module.....	42
Εικόνα 33 Καρτέλα Time parameters του μοντέλου MIKE 21 Flow Model FM – Sand Transport.....	44
Εικόνα 34 Καρτέλα Sediment properties του μοντέλου MIKE 21 Flow Model FM – Sand Transport.....	44
Εικόνα 35 Καρτέλα Forcings του μοντέλου MIKE 21 Flow Model FM – Sand Transport.....	45
Εικόνα 36 Καρτέλα Outputs του μοντέλου MIKE 21 Flow Model FM – Sand Transport.....	46
Εικόνα 37 Μπούρτζι Μεθώνης (www.naftemporiki.gr).....	47
Εικόνα 38 Κάστρο Μεθώνης (www.gtp.gr).....	47
Εικόνα 39 Κακοκαιρία στη Μεθώνη 26/1/2019 (www.foninews.gr).....	48
Εικόνα 40 Υλικές ζημιές από κακοκαιρία 26/1/2019.....	48
Εικόνα 41 Υλικές ζημιές από κακοκαιρία 26/1/2019.....	49
Εικόνα 42 Κυματοθραύστης Μεθώνης σε ακραίο καιρικό φαινόμενο (www.messinia24.gr).....	49
Εικόνα 43 Εξέλιξη ακτογραμμής Μεθώνης λόγω διάβρωσης (Google Earth).....	50
Εικόνα 44 Κατευθύνσεις ανέμων που επιλέχθηκαν.....	55
Εικόνα 45 Κύρια κατεύθυνση του Νότιου ανέμου.....	56
Εικόνα 46 Νότιος άνεμος (όλες οι κατευθύνσεις).....	56
Εικόνα 47 Μήκη αναπτύγματος για τον Νότιο άνεμο.....	57
Εικόνα 48 Δυτικός άνεμος (όλες οι κατευθύνσεις).....	59
Εικόνα 49 Νότιοδυτικός άνεμος (όλες οι κατευθύνσεις).....	61
Εικόνα 50 Νομογράφημα ύψους θράυσης.....	161
Εικόνα 51 Νομογράφημα βάθους θράυσης.....	161
Εικόνα 52 Κώδικας Matlab.....	168

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 5.1. 1 Χωρική κατανομή του χαρακτηριστικού ύψους κύματος για Νότιο άνεμο 4 BF.....	67
Σχήμα 5.1. 2 Χωρική κατανομή μέγιστου ύψους κύματος για Νότιο άνεμο 4 BF.....	68
Σχήμα 5.1. 3 Χωρική κατανομή του δείκτη θραύσης για Νότιο άνεμο 4 BF.....	69
Σχήμα 5.1. 4 Χωρική κατανομή της περιόδου αιχμής για Νότιο άνεμο 4 BF.....	70
Σχήμα 5.1. 5 Χωρική κατανομή της ταχύτητας κατά χ για Νότιο άνεμο 4 BF.....	71
Σχήμα 5.1. 6 Χωρική κατανομή της ταχύτητας κατά γ για Νότιο άνεμο 4 BF.....	72
Σχήμα 5.1. 7 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και γ για Νότιο άνεμο 4 BF.....	73
Σχήμα 5.1. 8 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νότιο άνεμο 4 BF.....	74
Σχήμα 5.1. 9 Χωρική κατανομή του ρυθμού αλλαγής της στάθμης του πυθμένα για Νότιο άνεμο 4 BF.....	74
Σχήμα 5.1. 10 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Νότιο άνεμο 5 BF.....	75
Σχήμα 5.1. 11 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και γ για Νότιο άνεμο 5 BF.....	76
Σχήμα 5.1. 12 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νότιο άνεμο 5 BF.....	77
Σχήμα 5.1. 13 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Νότιο άνεμο 6 BF....	78
Σχήμα 5.1. 14 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και γ για Νότιο άνεμο 6 BF.....	79
Σχήμα 5.1. 15 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νότιο άνεμο 6 BF.....	80
Σχήμα 5.1. 28 Χωρική κατανομή του χαρακτηριστικού ύψους κύματος για Δυτικό άνεμο 4 BF.....	82
Σχήμα 5.1. 29 Χωρική κατανομή μέγιστου ύψους κύματος για Δυτικό άνεμο 4 BF..	83
Σχήμα 5.1. 30 Χωρική κατανομή του δείκτη θραύσης για Δυτικό άνεμο 4 BF.....	84
Σχήμα 5.1. 31 Χωρική κατανομή της περιόδου αιχμής για Δυτικό άνεμο 4 BF.....	85
Σχήμα 5.1. 32 Χωρική κατανομή της ταχύτητας κατά χ για Δυτικό άνεμο 4 BF.....	86
Σχήμα 5.1. 33 Χωρική κατανομή της ταχύτητας κατά γ για Δυτικό άνεμο 4 BF.....	87
Σχήμα 5.1. 34 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και γ για Δυτικό άνεμο 4 BF.....	88
Σχήμα 5.1. 35 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Δυτικό άνεμο 4 BF.....	89
Σχήμα 5.1. 36 Χωρική κατανομή του ρυθμού αλλαγής της στάθμης του πυθμένα για Δυτικό άνεμο 4 BF.....	89
Σχήμα 5.1. 37 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Δυτικό άνεμο 5 BF...90	
Σχήμα 5.1. 38 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και γ για Δυτικό άνεμο 5 BF.....	91
Σχήμα 5.1. 39 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Δυτικό άνεμο 5 BF.....	92
Σχήμα 5.1. 40 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Δυτικό άνεμο 6 BF...93	

Σχήμα 5.1. 41 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και y για Δυτικό άνεμο 6 BF.....	94
Σχήμα 5.1. 42 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Δυτικό άνεμο 6 BF.....	95
Σχήμα 5.1. 43 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Δυτικό άνεμο 7 BF...	96
Σχήμα 5.1. 44 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και y για Δυτικό άνεμο 7 BF.....	97
Σχήμα 5.1. 45 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Δυτικό άνεμο 7 BF.....	98
Σχήμα 5.1. 46 Χωρική κατανομή του χαρακτηριστικού ύψους κύματος για Δυτικό άνεμο 8 BF.....	99
Σχήμα 5.1. 47 Χωρική κατανομή μέγιστου ύψους κύματος για Δυτικό άνεμο 8 BF	100
Σχήμα 5.1. 48 Χωρική κατανομή του δείκτη θραύσης για Δυτικό άνεμο 8 BF.....	101
Σχήμα 5.1. 49 Χωρική κατανομή της περιόδου αιχμής για Δυτικό άνεμο 8 BF.....	102
Σχήμα 5.1. 50 Χωρική κατανομή της ταχύτητας κατά χ για Δυτικό άνεμο 8 BF.....	103
Σχήμα 5.1. 51 Χωρική κατανομή της ταχύτητας κατά y για Δυτικό άνεμο 8 BF.....	104
Σχήμα 5.1. 52 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και y για Δυτικό άνεμο 8 BF.....	105
Σχήμα 5.1. 53 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Δυτικό άνεμο 8 BF.....	106
Σχήμα 5.1. 54 Χωρική κατανομή του ρυθμού αλλαγής της στάθμης του πυθμένα για Νότιο άνεμο 8 BF.....	106
Σχήμα 5.1. 55 Χωρική κατανομή του χαρακτηριστικού ύψους κύματος για Νοτιοδυτικό άνεμο 4 BF.....	107
Σχήμα 5.1. 56 Χωρική κατανομή μέγιστου ύψους κύματος για Νοτιοδυτικό άνεμο 4 BF.....	108
Σχήμα 5.1. 57 Χωρική κατανομή του δείκτη θραύσης για Νοτιοδυτικό άνεμο 4 BF.....	109
Σχήμα 5.1. 58 Χωρική κατανομή της περιόδου αιχμής για Νοτιοδυτικό άνεμο 4 BF.....	110
Σχήμα 5.1. 59 Χωρική κατανομή της ταχύτητας κατά χ για Νοτιοδυτικό άνεμο 4 BF.....	111
Σχήμα 5.1. 60 Χωρική κατανομή της ταχύτητας κατά y για Νοτιοδυτικό άνεμο 4 BF.....	112
Σχήμα 5.1. 61 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και y για Νοτιοδυτικό άνεμο 4 BF.....	113
Σχήμα 5.1. 62 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νοτιοδυτικό άνεμο 4 BF.....	114
Σχήμα 5.1. 63 Χωρική κατανομή του ρυθμού αλλαγής της στάθμης του πυθμένα για Νοτιοδυτικό άνεμο 4 BF.....	114
Σχήμα 5.1. 64 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Νοτιοδυτικό άνεμο 5 BF.....	115
Σχήμα 5.1. 65 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και y για Νότιοδυτικό άνεμο 5 BF.....	116

Σχήμα 5.1. 66 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νοτιοδυτικό άνεμο 5 BF.....	117
Σχήμα 5.1. 67 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Νοτιοδυτικό άνεμο 6 BF	118
Σχήμα 5.1. 68 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και y για Νοτιοδυτικό άνεμο 6 BF.....	119
Σχήμα 5.1. 69 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νοτιοδυτικό άνεμο 6 BF.....	120
Σχήμα 5.1. 70 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Νοτιοδυτικό άνεμο 7 BF	121
Σχήμα 5.1. 71 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και y για Νοτιοδυτικό άνεμο 7 BF.....	122
Σχήμα 5.1. 72 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νοτιοδυτικό άνεμο 7 BF.....	123

Σχήμα 5.2. 1 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Νότιο άνεμο 5 BF (Σενάριο).....	127
Σχήμα 5.2. 2 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και y για Νότιο άνεμο 5 BF (Σενάριο).....	128
Σχήμα 5.2. 3 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νότιο άνεμο 5 BF (Σενάριο).....	129
Σχήμα 5.2. 4 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Νότιο άνεμο 6 BF (Σενάριο).....	130
Σχήμα 5.2. 5 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και y για Νότιο άνεμο 6 BF (Σενάριο).....	131
Σχήμα 5.2. 6 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νότιο άνεμο 6 BF (Σενάριο).....	132
Σχήμα 5.2. 7 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Δυτικό άνεμο 5 BF (Σενάριο).....	133
Σχήμα 5.2. 8 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και y για Δυτικό άνεμο 5 BF (Σενάριο).....	134
Σχήμα 5.2. 9 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Δυτικό άνεμο 5 BF (Σενάριο).....	135
Σχήμα 5.2. 10 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Δυτικό άνεμο 6 BF (Σενάριο).....	136
Σχήμα 5.2. 11 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και y για Δυτικό άνεμο 6 BF (Σενάριο).....	137
Σχήμα 5.2. 12 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Δυτικό άνεμο 5 BF (Σενάριο).....	138
Σχήμα 5.2. 13 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Δυτικό άνεμο 7 BF (Σενάριο).....	139
Σχήμα 5.2. 14 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και y για Δυτικό άνεμο 7 BF (Σενάριο).....	140

Σχήμα 5.2. 15 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Δυτικό άνεμο 6 BF (Σενάριο).....	141
Σχήμα 5.2. 16 Χωρική κατανομή της ταχύτητας κατά χ για Δυτικό άνεμο 8 BF (σενάριο).....	142
Σχήμα 5.2. 17 Χωρική κατανομή της ταχύτητας κατά y για Δυτικό άνεμο 8 BF (σενάριο).....	143
Σχήμα 5.2. 18 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και y για Δυτικό άνεμο 8 BF (σενάριο).....	145
Σχήμα 5.2. 19 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Δυτικό άνεμο 8 BF (σενάριο).....	146
Σχήμα 5.2. 20 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Νοτιοδυτικό άνεμο 5 BF (Σενάριο).....	147
Σχήμα 5.2. 21 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και y για Νοτιοδυτικό άνεμο 5 BF (Σενάριο).....	148
Σχήμα 5.2. 22 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νοτιοδυτικό άνεμο 5 BF (Σενάριο).....	149
Σχήμα 5.2. 23 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Νοτιοδυτικό άνεμο 6 BF (Σενάριο).....	150
Σχήμα 5.2. 24 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και y για Νοτιοδυτικό άνεμο 6 BF (Σενάριο).....	151
Σχήμα 5.2. 25 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νοτιοδυτικό άνεμο 6 BF (Σενάριο).....	152
Σχήμα 5.2. 26 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Νοτιοδυτικό άνεμο 7 BF (Σενάριο).....	153
Σχήμα 5.2. 27 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και y για Νοτιοδυτικό άνεμο 7 BF (Σενάριο).....	154
Σχήμα 5.2. 28 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νοτιοδυτικό άνεμο 7 BF (Σενάριο).....	155

Περίληψη

Η παράκτια ζώνη αποτελεί μια ιδιαίτερη γεωγραφική ενότητα. Το μεγαλύτερο μέρος των ανθρώπινων δραστηριοτήτων αλλά και της οικονομίας κινείται γύρω από αυτή. Ωστόσο, αποτελεί ένα πολύπλοκο και εύθραυστο σύστημα που χρήζει ιδιαίτερης προσοχής στις επεμβάσεις σε αυτό. Οι κινητήριοι μηχανισμοί που συμβάλλουν στην μεταβολή της μορφολογίας της σχετίζονται κυρίως με τους κυματισμούς και τα παράκτια ρεύματα. Οι διαδικασίες της στερεομεταφοράς, που λαμβάνουν χώρα τόσο λόγω των μηχανισμών αυτών, όσο και λόγω την ανθρώπινων επεμβάσεων αποτελεί στοιχείο μελέτης και ενδιαφέροντος, καθώς σχετίζονται σε βάθος χρόνου με την εξέλιξη της ακτογραμμής της.

Το ερευνητικό ενδιαφέρον επικεντρώνεται τελευταία στη μεταβολή των κυματικών χαρακτηριστικών στις παράκτιες ζώνες, καθώς παρατηρείται αλλαγή στην ένταση και τη διάρκεια τους. Τα ακραία γεγονότα, που σύμφωνα με τους επιστήμονες είναι αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής, δυσχεραίνουν την κατάσταση των παράκτιων περιοχών, ενώ είναι ταυτόχρονα η κύρια αιτία της εξέλιξης της ακτογραμμής. Για την κατανόηση αλλά και τη διερεύνηση αυτών των διαδικασιών κρίνεται σκόπιμη η χρήση των αριθμητικών μοντέλων προσομοίωσης.

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της στερεομεταφοράς με χρήση του λογισμικού MIKE 21, που εφαρμόστηκε στην παράκτια περιοχή του αρχαίου λιμένα της Μεθώνης, αλλά και με χρήση εμπειρικών εξισώσεων σε περιβάλλον Matlab. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τα μοντέλα προσομοίωσης του MIKE 21 για την εκτίμηση των κυματικών (Spectral Waves FM) και υδροδυναμικών (MIKE 21 Flow Model FM – Hydrodynamic Module) συνθηκών της περιοχής, καθώς και των συνθηκών στερεομεταφοράς (MIKE 21 Flow Model FM - Sand Transport Module).

Το κυριότερο αποτέλεσμα που προέκυψε από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων είναι πως η παράκτια ζώνη της Μεθώνης, υπό συνήθεις κυματικές συνθήκες που προέρχονται από ήπιους ανέμους, δεν αντιμετωπίζει ιδιαίτερα προβλήματα προσάμμωσης. Ωστόσο, σε περίπτωση εμφάνισης σφοδρών ανέμων και κατά συνέπεια έντονων κυματικών φαινομένων που προσομοιώθηκαν, η ακτή προκύπτει ιδιαίτερα ευάλωτη ως προς την προσάμμωση του πυθμένα της, κυρίως εντός του λιμένα και πιο συγκεκριμένα στα σημεία εύρεσης των κυματοθραυστών.

ABSTRACT

The coastal zone constitutes a special geographic unity. The biggest part of human activity and economy moves around it. However, it composes a very complicated and fragile system that is of particular importance and attention in the interferences on it. The motion mechanisms that contribute in the alternation of its morphology are related to the ripples and the coastal relays. The sand transport procedures that happen because of these mechanisms and of the human interpositions compose a field of study and interest as they relate over time with the evolution of their coastline.

The searching interest focuses lately on the variation of waval characteristics on the coastal zones, as change of their intensity and duration is observed. The extreme events -that according to the scientists are effects of the climate change- cause difficulty on the coastal regions' status, while are the main cause of evolution of the coastline on the same time. For the understanding and investigation of these procedures, the use of numerical simulator model is necessary.

The aim of this thesis is the investigation of sand transport with the use of a software named "MIKE 21" -which was used in the coastal region of Methoni's ancient port- and Matlab environment with the use of empirical equations. More specifically the stimulation models of MIKE 21 were used for the estimation of the waval (Spectral Waves FM) and hydrodynamic (MIKE 21 Flow Model FM-Hydrodynamic Module) conditions of the region, as of the sand transport conditions (MIKE 21 Flow Model FM-Sand Transport Module).

The main effect that occurred from the evaluation of the results of the stimulation, is that the coastal zone of Methoni region, under usual waval conditions that originate from mild winds, doesn't face particular sedimentation problems. However, in case of intense winds appearance that were simulated, the coast seems to be vulnerable as to its bottom sedimentation, mainly into the port and more particularly at the finding points of the breakwaters.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο και σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Η χώρα μας περιβάλλεται από ακτές μήκους 15.000 km, μεγάλο μήκος από το οποίο χρησιμοποιείται ως φυσικός πόρος με οικονομικοκοινωνικά οφέλη: διακίνηση εμπορευμάτων/επιβατών μέσω των λιμένων, διάθεση λυμάτων, χρήση των αμμωδών παραλιών για αναψυχή κ.ά. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια η παράκτια ζώνη πιέζεται από περιβαλλοντικούς παράγοντες, με σημαντικότερο πρόβλημα αυτό της διάβρωσης και προσάμμοσης των ακτών. Το πρόβλημα εντείνεται λόγω της κλιματικής αλλαγής, που επηρεάζει και τη λειτουργία των λιμενικών και παράκτιων τεχνικών έργων τα οποία χρήζουν πλέον επανασχεδιασμού/αναβάθμισης. (Ακτομηχανική – Έργα Προστασίας Ακτών/ Καραμπάς- Κρεστενίτης- Κουτίτας)

Για την καλύτερη αντιμετώπιση και υπολογισμό του μεγέθους αυτού του προβλήματος στην εκάστοτε περιοχή ενδιαφέροντος, η εφαρμογή των υπαρχόντων αριθμητικών μοντέλων κρίνεται ως αναγκαίο εργαλείο για το μηχανικό. Τα αριθμητικά μοντέλα είναι ικανά να προσομοιώσουν τις καιρικές και κυματικές συνθήκες σε μικρό χρονικό διάστημα μέσω κάποιων απλοποιητικών μεθόδων που εφαρμόζονται σε αυτά, προσφέροντας έτσι εν γένει μία αντιπροσωπευτική εικόνα της υφιστάμενης κατάστασης στην περιοχή μελέτης αλλά και την πιθανή πρόβλεψη μίας μελλοντικής διαμόρφωσης.

Αντικείμενο λοιπόν της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η διερεύνηση της μεταφοράς φερτών υλικών στον αρχαίο λιμένα της Μεθώνης υπό την επίδραση ανεμογενών κυματισμών με χρήση του λογισμικού MIKE 21 αλλά και με χρήση εμπειρικών εξισώσεων σε περιβάλλον Matlab. Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε η ανάπτυξη αυτών των κυματισμών με πραγματικά δεδομένα ανέμων με τη χρήση του μοντέλου MIKE 21 Spectral Waves FM, ενώ στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι υδροδυναμικές συνθήκες και κατά συνέπεια η στερεομεταφορά (ρυθμός στερεομεταφοράς) με χρήση του μοντέλου MIKE 21 Flow Model FM.

1.2 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας

Η διπλωματική εργασία περιλαμβάνει έξι Κεφάλαια, τα οποία αναφέροντα στα εξής ζητήματα (εκτός του πρώτου Κεφαλαίου που αναλύθηκε προηγουμένως):

- Κεφάλαιο 2: Σύντομη αναφορά στα αριθμητικά μοντέλα, την εξέλιξη τους στο πέρασμα του χρόνου και τους τρόπους που προσομοιώνουν τα κυματικά φαινόμενα
- Κεφάλαιο 3: Παρουσίαση του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε στην προσομοίωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας (MIKE 21), με αναφορά στις ρυθμίσεις του κάθε μοντέλου, εισαγωγή στις θεωρητικές του εξισώσεις και μία σύντομη περιγραφή της λειτουργίας τους.
- Κεφάλαιο 4: Παρουσίαση της περιοχής της Μεθώνης με μία σύντομη ιστορική αναδρομή στον αρχαίο λιμένα της και αναφορά των σύγχρονων προβλημάτων της. Επιπλέον παρατίθεται αναλυτικός μηνιαίος πίνακας με τις

πιθανότητες εμφάνισης όλων των ανέμων, τα οποία μας δόθηκαν από την EMY.

- Κεφάλαιο 5: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης της υφιστάμενης κατάστασης αλλά και του εναλλακτικού σεναρίου που προτείνεται στην παρούσα εργασία. Το εναλλακτικό σενάριο περιλαμβάνει την αφαίρεση ενός κυματοθραύστη με εκ νέου προσομοίωση στο λογισμικό MIKE 21. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων των εμπειρικών εξισώσεων.
- Κεφάλαιο 6: Σύνοψη των συμπερασμάτων της εργασίας και διατύπωση προτάσεων για μελλοντική έρευνα.

2. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

2.1 Γένεση Ανεμογενών Κυματισμών

Η ανάπτυξη κυματισμών, σύμφωνα με το άρθρο Wave Modelling – The state of the art (Cavaleri et al. / Progress in Oceanography 75 (2007) 603–674), λόγω ύπαρξης ανέμου έχει αποτελέσει σημείο αντιθέσεων στην επιστήμη του μηχανικού. Παρατηρήσεις στο πεδίο κάνουν την εμφάνιση τους πρώτη φορά το 1970 και σε συνδυασμό με μηχανισμούς που αναπτύχθηκαν θεωρητικά από το 1950 δημιούργησαν τις πρώτες παραμετροποιήσεις στην εξίσωση εισαγωγής του ανέμου σε κυματικά μοντέλα. Η αλληλεπίδραση των θαλάσσιων κυμάτων με την ατμόσφαιρα έχει οδηγήσει σε βελτιωμένη απόδοση των προβλέψεων για τους ανεμογενείς κυματισμούς. Η θεωρία της γένεσης κυματισμών λόγω ύπαρξης ανέμου εντοπίζεται στις αρχές του 20^{ου} αιώνα όταν ο Jeffreys (1924, 1925) εισήγαγε την ιδέα ότι ο άνεμος που ρέει πάνω από τη θαλάσσια επιφάνεια καταφεύγει στους κυματισμούς στα «απάνεμα» σημεία τους (λειτουργούν κατά κάποιο τρόπο σαν καταφύγιο). Αυτό οδηγεί σε μια διαφορά πίεσης, εξηγώντας τότε με έναν απλοϊκό τρόπο τη μετάδοση της ενέργειας του ανέμου στους κυματισμούς, ωστόσο αυτή η ιδέα εγκαταλείφθηκε αργότερα.

Στις μέρες μας η προσομοίωση ανεμογενών κυματισμών έχει φτάσει σε μεγάλο βαθμό αξιοπιστίας ως προς τα αποτελέσματα που εξάγονται, ωστόσο προβλήματα εξακολουθούν να υπάρχουν και χρήζουν προσοχής, ιδίως από την οπτική της συνεχώς αναπτυσσόμενης αναγνώρισης της σημασίας των κυματισμών λόγω ανέμου στη ρύθμιση των μηχανισμών ανταλλαγής στην διεπιφάνεια ατμόσφαιρας-θάλασσας. Αυτοί οι μηχανισμοί έχουν καθοριστικό ρόλο στην κλιματική διαμόρφωση των πεδίων δράσης τους και συνεπώς γίνεται αντιληπτή η βαρύτητα μελέτης αυτού του φαινομένου.

Οι προφανείς παράγοντες που διαμορφώνουν τα πεδία των ανέμων κατά εν συνεχεία τέτοιους κυματισμούς, όπως αναφέρθηκε στο Wave modeling in coastal and inner seas (Cavaleri et al. Progress in Oceanography 167 (2018) 164–233) είναι η ύπαρξη στεριάς και γενικότερα ορογραφίας στην περιοχή, οι οποίοι επηρεάζουν τα πεδία αυτά. Σε περιπτώσεις λιμένων, όπως αυτή της παρούσας διπλωματικής, η ύπαρξη ρηχών νερών σε μεγάλη έκταση επηρεάζει δραματικά τη διάδοση των κυματισμών με

την εισαγωγή των χαρακτηριστικών του πυθμένα ως κυρίαρχο παράγοντα στην προσομοίωση ενός κυματικού φαινομένου. Σε κλειστά θαλάσσια συστήματα, όπως ένας λιμένας, σφάλματα που αφορούν την προσομοίωση βασικών μεγεθών (χαρακτηριστικό ύψος κύματος, περίοδος, κατεύθυνση) συναντώνται πιο συχνά, θέτοντας τα ρηχά νερά ως σημείο ανάγκης περαιτέρω έρευνας και μελέτης.

2.2 Αριθμητικά μοντέλα

Τα φυσικά φαινόμενα που προκαλούν τη δημιουργία αλλά και τη διάδοση κυματισμών αποτελούν ασφαλώς μία βασική πρώτη προσέγγιση στην κατανόηση τους. Θεωρητικά οι εξισώσεις που διέπουν αυτά τα φαινόμενα, ισχύουν για κάθε σημείο του πεδίου και του χρόνου, όμως σε πραγματικές εφαρμογές στόχος είναι η επίλυση αυτών για ένα πεπερασμένο αριθμό σημείων ενός πεδίου. Συνεπώς, οι εξισώσεις αυτές πρέπει να διακριτοποιηθούν και να επιλυθούν αριθμητικά. Αυτή η προσπάθεια είναι πολύπλοκη, αφού πολλές διαδικασίες είναι μη γραμμικές, αλληλοεξαρτώμενες και συχνά παρουσιάζονται σε μικρή χρονική ή χωρική κλίμακα. Αυτά τα προβλήματα γίνονται πιο αισθητά όταν αφορούν παράκτιες ζώνες όπου έχουν πολύπλοκη γεωμετρία, ύπαρξη στερεών ορίων, ρευμάτων αλλά και ύπαρξη ρηχών νερών ή και όχι πλήρως ανεπτυγμένων κυματισμών. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν τα αριθμητικά μοντέλα προσομοίωσης πολύπλοκη διαδικασία, με σύνθετα και πολλές φορές απρόβλεπτα χαρακτηριστικά.

Τα αριθμητικά αυτά μοντέλα παράγουν πεδία κυματισμών και ρευμάτων είτε σε 2D (depth integrated) είτε σε 3D και έχουν συνήθως χρονικά βήματα κάποιων δευτερολέπτων για την επίτευξη ακρίβειας και σταθερότητας. Τα δεδομένα που εισάγονται σε αυτά συμπεριλαμβάνουν τη βαθυμετρία/τοπογραφία, παραμέτρους για την τριβή του πυθμένα, ατμοσφαιρικές δυνάμεις (άνεμος, πίεση, θερμοκρασία ατμόσφαιρας, και γενικώς ροές θερμότητας), τη δύναμη Coriolis, εκβολές ποταμών και τάσεις από τους κυματισμούς). Η επίλυση όμως όταν πρόκειται για μία παράκτια περιοχή μετατρέπεται σε ένα πιο πολύπλοκο πρόβλημα. Η βαθυμετρία συχνά θεωρείται αμετάβλητη, η οποία στην πραγματικότητα μπορεί να αλλάζει μορφή σημαντικά σε περίπτωση έντονων φαινομένων. Επίσης, μία έντονα μεταβαλλόμενη βαθυμετρία απαιτεί μεγάλη σχεδιαστική ανάλυση, που οδηγεί σε μικρότερα χρονικά βήματα και κατά συνέπεια μεγάλους υπολογιστικούς χρόνους. Ωστόσο, προκειμένου να επιτευχθεί σταθερότητα στην υλοποίηση του μοντέλου η βαθυμετρία μπορεί να εξομαλυνθεί, μειώνοντας την τοπική ακρίβεια.

2.2.1 Εισαγωγή του πεδίου στα αριθμητικά μοντέλα

Στο σημείο εισαγωγής του πεδίου σε ένα αριθμητικό μοντέλο, ειδικά όταν πρόκειται για μία παράκτια περιοχή, τα προβλήματα που ο μηχανικός καλείται να αντιμετωπίσει βρίσκονται τόσο στη χωρική όσο και χρονική κλίμακα που χρειάζεται να επιλυθεί εντός της προσομοίωσης. Για την επίτευξη μίας ιδανικής ισορροπίας σε πρακτικό επίπεδο μεταξύ υπολογιστικών απαιτήσεων και απαιτούμενης ακρίβειας, χρειάζεται μεγάλη προσοχή στις πιθανές προσεγγίσεις, τις απαιτούμενες υποθέσεις και απλοποιήσεις που θα ληφθούν για την επίτευξη μίας αντιπροσωπευτικής με την πραγματικότητα προσομοίωση.

Τα φασματικά κυματικά μοντέλα (spectral wave models), όπως αυτό που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική, βασίζονται σε μη δομημένα πλέγματα (unstructured grid) και αποτελούν μία συνήθη προσέγγιση επίλυσης την τελευταία δεκαετία (Cavaleri et al. / Progress in Oceanography 75 (2007) 603–67). Με την εισαγωγή της πολυπλοκότητας της γεωγραφικής διακριτοποίησης, η χωρική κλίμακα στην οποία το κυματικό φάσμα αλλάζει καθώς αυτό προσεγγίζει την ακτή μπορεί να υιοθετηθεί καλύτερα σε φασματικά κυματικά μοντέλα. Το πλέγμα σε αυτά τα μοντέλα συνήθως διαμορφώνεται βάσει της αριθμού CFL (Courant et al., 1928) του πεδίου των κυρίαρχων συχνοτήτων. Επιπρόσθετα, μία βελτιστοποίηση της διαβάθμισης της βαθυμετρίας επιτυγχάνεται με τη χρήση τριγωνικού πλέγματος. Με αυτόν τον τρόπο τα χαρακτηριστικά της βαθυμετρίας, καθώς και της χρονικής και χωρικής κλίμακας μπορούν να αναλυθούν ορθά χωρίς να απαιτείται μεγάλη αύξηση στον υπολογιστικό χρόνο, το οποίο θα συνέβαινε στην περίπτωση δομημένου πλέγματος (structured mesh).

Οι μέθοδοι που εφαρμόζουν τα φασματικά κυματικά μοντέλα ως προς το χρονικό βήμα (time step) για τα πλέγματα ακολουθούν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Οι σαφείς μέθοδοι (explicit methods) βασίζονται στο απλό χρονικό βήμα κατά Euler (το οποίο χρησιμοποιήθηκε και στο πρόγραμμα της διπλωματικής) και οι τυπικές μέθοδοι (implicit methods).

2.2.2 Αλληλεπίδραση κυματισμών-ρευμάτων στα αριθμητικά μοντέλα

Καθώς ένας κυματισμός θραύεται υπό την επίδραση του ανέμου ή λόγω προσέγγισης παράκτιας περιοχής, ορμή μεταφέρεται από τον κυματικό πεδίο στη θαλάσσια κυκλοφορία (L. Cavaleri et al. / Progress in Oceanography 75 (2007) 603–674). Με αυτό τον τρόπο εγκάρσια αλλά και παράλληλα στην ακτογραμμή ρεύματα δημιουργούνται. Αυτά τα ρεύματα με τη σειρά τους μπορούν να συμβάλλουν στη διαμόρφωση του κυματικού πεδίου μέσω της αλληλεπίδρασης κυματισμού-ρεύματος. Η επίδραση των κυμάτων στη δημιουργία ρευμάτων εμπεριέχει ακόμα την τάση του πυθμένα που ασκείται στον κυματισμό. Γενικότερα όμως οι διατυπώσεις για τη θραύση κυματισμών είναι κατά βάση εμπειρικές.

Η αλληλεπίδραση των κυματισμών με τα ρεύματα είναι ένα φαινόμενο κατά τη διάδοση των κυματισμών, η οποία υπολογίζεται με βάση την διατήρηση της κυματικής δράσης. Τα φασματικά κυματικά μοντέλα υπολογίζουν αυτή την αλληλεπίδραση με τη γραμμική θεωρία κυματισμών βάσει της οποίας τα ρεύματα είναι ομογενή κατά το βάθος. Δεδομένου ότι οι κυματισμοί δημιουργούν ρεύματα είναι προφανές ότι μία συνεχής «συνεργασία» λαμβάνει χώρα με αμοιβαία αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών. Με την εισαγωγή ρευμάτων στα κυματικά μοντέλα μπορεί να επιτευχθεί μείωση σφαλμάτων στα ύψη των κυματισμών της τάξεως έως και 30%.

Η ενσωμάτωση των κυματικών επιδράσεων στις τάσεις που αναπτύσσονται στον πυθμένα και η μεταφορά ιζήματος παραμένει έως και σήμερα πρόκληση για τα

αριθμητικά μοντέλα προσομοίωσης που συνυπολογίζουν υδροδυναμικά φαινόμενα, κύματα και μεταφορά ιζήματος με στόχο την πρόβλεψη των μορφολογικών αλλαγών.

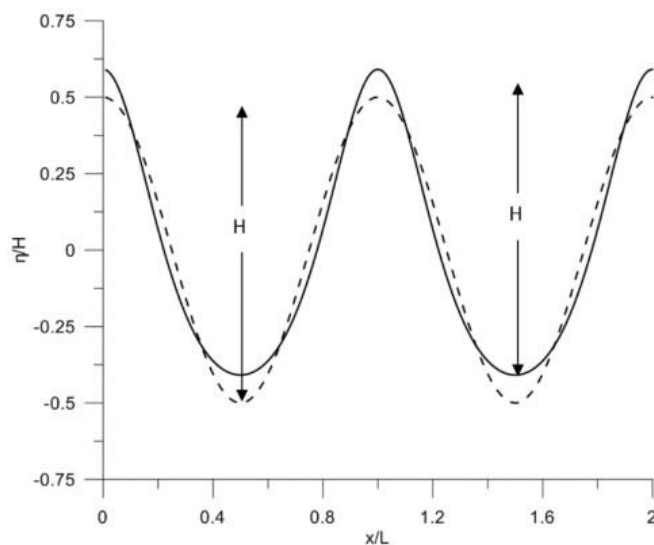
2.2.3 Αλληλεπίδραση κυματισμών-ατμόσφαιρας

Ενδιαφέρον γεγονός αποτελεί ότι το πλέον ενεργό μέρος μία θαλάσσιας έκτασης είναι η επιφάνεια της, με τους κυματισμούς να παίζουν κυρίαρχο ρόλο με άμεσο ή έμμεσο τρόπο στη διαμόρφωση των αλλαγών σε αυτή. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των κυματισμών, του νερού και της ατμόσφαιρας αποτελεί ένα σύνθετο φαινόμενο μεταφοράς ενέργειας και ορμής, με παραμέτρους οι οποίες έγκεινται περαιτέρω έρευνας.

Οι αναπτυσσόμενοι κυματισμοί απορροφούν ενέργεια και ορμή από το πεδίο των ανέμων, μέχρις ότου επέλθει η θραύση τους. Αυτή η διαδικασία αυξάνει ή μειώνει την τάση που αναπτύσσεται στο θαλάσσιο πεδίο αναλόγως αν ο κυματισμός βρίσκεται σε ανάπτυξη ή απόσβεση. Μόνο όταν το πεδίο του ανέμου είναι σε ισορροπία με την ενέργεια που εισάγεται στο κυματικό προφίλ θα παρατηρηθεί ίδια τάση και στις δύο πλευρές της επιφάνειας του νερού (Cavaleri et al. Progress in Oceanography 167 (2018) 164–233). Οι κυματισμοί επηρεάζουν όλες τις διαδικασίες στη διεπιφάνεια ατμόσφαιρας και νερού. Αυτές συμπεριλαμβάνουν μεταφορά θερμότητας, ακτινοβολίας, παραγωγή αερολύματος (νερό σε μορφή σπρέι) , οι οποίες δείχνουν πόσο ευαίσθητη είναι η ατμόσφαιρα στην εξέλιξη του θαλάσσιου πεδίου και πόσο αυτό επηρεάζεται από τη θραύση κυματισμών.

2.2.4 Μη γραμμικότητα στα ρηχά νερά

Καθώς οι κυματισμοί διαδίδονται από τα βαθιά νερά σε παράκτιες ρηχές περιοχές η διασπορά των συχνοτήτων συρρικνώνεται και τετράδες (quartet) (σχεδόν) από επαναλαμβανόμενα κύματα μετατρέπονται σε λοξούς, με κλίση προς τα εμπρός (αναδίπλωση) σχηματισμούς όπως αυτοί παρατηρούνται στις παραλίες στην εκκίνηση της θραύσης τους (L. Cavaleri et al. / Progress in Oceanography 75 (2007) 603–674). Σε αυτή τη διαδικασία triad αλληλεπιδράσεις φθάνουν σε συντονισμό και αποκτούν κυρίαρχο ρόλο στη δυναμική του φαινομένου. Αυτή η μεταφορά από quartet σε triad αλληλεπιδράσεις είναι το αποτέλεσμα της αλλαγής στη σχέση διασποράς από ένα σύστημα διασποράς στα βαθιά που δεν υποστηρίζει συντονισμένες triad αλληλεπιδράσεις (Phillips, 1960) σε ένα σύστημα χωρίς διασπορά σε ρηχά νερά όπου όλα τα μέρη του κύματος ταξιδεύουν με την ίδια ταχύτητα. Οι triad αλληλεπιδράσεις μεταφέρουν ενέργεια από τα προσπίπτοντα κυματικά στοιχεία σε μεγαλύτερης ή μικρότερης συχνότητας στοιχεία. Αυτή η αλληλεπίδραση αμβλύνει το φάσμα συχνοτήτων στα ρηχά. Όλα αυτά τα στοιχεία εμπεριέχονται και χρήζουν βελτιστοποίησης στα αριθμητικά μοντέλα κυματισμών.



Εικόνα 1 Απεικόνιση γραμμικού (διακεκομμένη γραμμή) και μη γραμμικού κύματος (συνεχής γραμμή) (T Karampas - 2015)

Τα αριθμητικά μοντέλα για τα ρηγά νερά μπορούν να διακριθούν σε δύο κύριες κατηγορίες, σύμφωνα με τους L. Cavaleri et al. / Progress in Oceanography 75 (2007) 603–674:

- Ντετερμινιστικά μοντέλα που συνήθως διέπονται από την εξίσωση του Euler για στρωτή ροή (εξίσωση Laplace + συνοριακές συνθήκες) με υπόθεση από μικρή μη γραμμικότητα και στο όριο των ρηχών νερών (δηλαδή $kh \rightarrow 0$). Αυτά τα μοντέλα, εμπεριέχουν τόσο το φυσικό πεδίο των μοντέλων Boussinesq όσο και των μοντέλων εξέλιξης σύνθετου εύρους (φασματικά μοντέλα) και επιλύουν τις φάσεις ενός μοναχικού κύματος.
- Στοχαστικά μοντέλα τα οποία διέπονται από τις ντετερμινιστικές εξισώσεις εφαρμόζοντας μία υπόθεση σχεδόν τυρβώδους ροής σε ένα άπειρο σετ συζευγμένων εξισώσεων που κυριαρχούν στην φασματική εξέλιξη. Για κάθε δοσμένη ντετερμινιστική κυματική εξίσωση μπορεί να παραχθεί ένα στοχαστικό μοντέλο κάτω από μία ορθή υπόθεση.

Εν γένει τα ντετερμινιστικά μοντέλα είναι πιο ακριβή σε σχέση με τα στοχαστικά.

2.2.5 Απόσβεση λόγω διεπαφής κυματισμών με τον πυθμένα

Παρά το γεγονός ότι η μη γραμμική μεταφορά ενέργειας μπορεί να υπολογιστεί από θεωρίες, η απόσβεση στη ζώνη όπου ο κυματισμός «αισθάνεται» τον πυθμένα παραμένει η λιγότερο διερευνημένη. Η εξίσωση ισορροπίας της ενέργειας στα βαθιά περιέχει ένα σαφή όρο για το white-capping (αφρός). Όταν όμως οι κυματισμοί προσεγγίζουν ρηγά νερά (γενικά ως ρηγά νερά ορίζονται για βάθος $d < \lambda/2$, $kh < 3$) δημιουργείται ένα ρεύμα στον πυθμένα που προήλθε από τους κυματισμούς και έτσι το φάσμα υιοθετεί ένα άλλο σχηματισμό στον οποίο αυξημένη απόσβεση είναι αναπόφευκτη. Οι όροι που αναφέρονται στην ύπαρξη ανέμου, στη μη γραμμική

μεταφορά και στο white-capping λαμβάνουν διαφορετική μορφή σε περιοχές περιορισμένου βάθους και παρουσιάζεται έντονη αλληλεπίδραση των κυματισμών με τον πυθμένα (L. Cavaleri et al. / Progress in Oceanography 75 (2007) 603–674) .

Η τριβή στον πυθμένα είναι υπεύθυνη για απόσβεση ενέργειας, σε βαθμό που μπορεί να είναι συγκρίσιμος με την μεταφορά ενέργειας από τον άνεμο για μέτριους ανέμους. Οι Luo and Monbaliu (1994) περιέγραψαν την τριβή του πυθμένα που χρησιμοποιείται στα φασματικά μοντέλα με την παρακάτω εξίσωση:

$$S_{bf}(\sigma, \theta) = -C_f \frac{k}{\sinh(2kh)} F(\sigma, \theta)$$

h είναι το βάθος, η παράμετρος C_f εξαρτάται από τις εξισώσεις της ορμής που χρησιμοποιεί το εκάστοτε μοντέλο για το επίπεδο του πυθμένα. Οι παράμετροι που αφορούν τις συνθήκες ροής και τη σκληρότητα του πυθμένα (παράγοντας τριβής f_w και ισοδύναμη σκληρότητα K_N αντίστοιχα) είναι εξίσου σημαντικοί παράγοντες που εισάγονται στα μοντέλα. Ωστόσο, μόνο έμμεσες τιμές επιβάλλονται σε αυτές τις παραμέτρους βασισμένες σε καταγραφές κατά την απόσβεση κυματισμών με μετρητές στους ίδιους τους κυματισμούς.

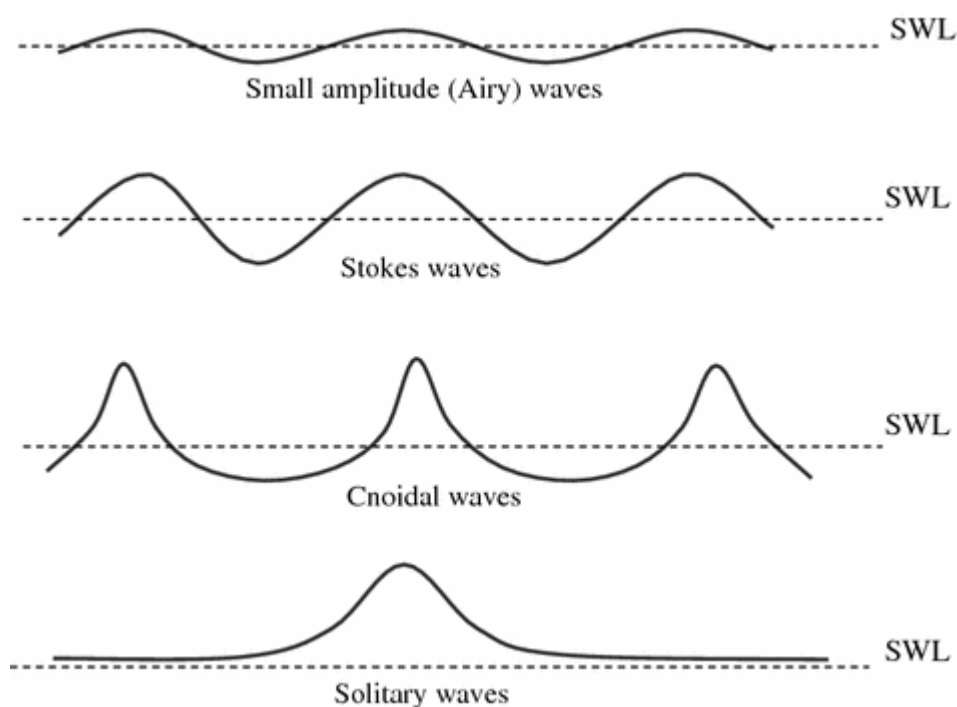
Από τη μεριά των φασματικών μοντέλων, είναι λογικό να λαμβάνονται κι άλλες διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα μαζί με την τριβή του πυθμένα όπως είναι οι μη γραμμικές αλληλεπιδράσεις, η απόσβεση λόγω white-capping, η περίθλαση και η ρήγωση. Το γεγονός αυτό θέτει για τα μοντέλα την εξαγωγή και ερμηνεία της τριβής του πυθμένα πρόκληση.

2.2.6 Διάδοση Κυματισμών

Η διάδοση των κυματισμών εμπεριέχεται στην εξίσωση διατήρησης της κυματικής δράσης, λαμβάνοντας υπόψιν όλες τις δράσεις όπως την περίθλαση, τη ρήγωση, τη διάθλαση και την ανάκλαση. Στην περίπτωση χωρικής μεταβολής στα βάθη μπορεί να ενεργοποιήσει οποιαδήποτε από αυτές τις δράσεις και να προκαλέσει μεταβολή στη μορφή του κυματικού πεδίου, το οποίο εμπεριέχεται εν γένει στα φασματικά μοντέλα.

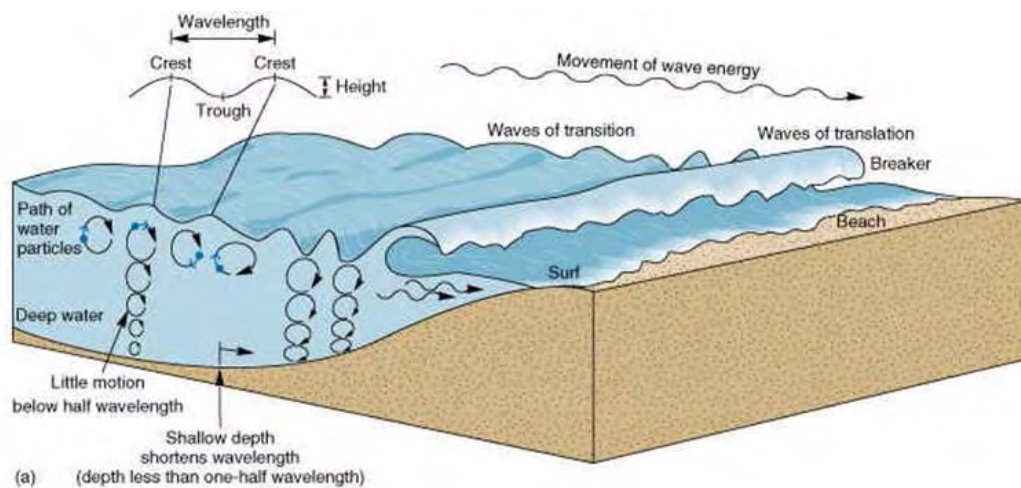
Η διάδοση των κυματισμών έχει υπάρξει αντικείμενο επιστημονικής έρευνας για αιώνες. Μια μονοχρωματική γραμμική και μη γραμμική θεωρία διάδοσης κυματισμών παρουσιάστηκε από τους Airy (1845) και Stokes (1847), με τις μη γραμμικές δράσεις σε ρηγά νερά να μελετώνται αργότερα από τον Boussinesq (1872). Μία φασματική περιγραφή ανεμογενών κυματισμών συστήθηκε αργότερα από τους Pierson et al. (1955) προκειμένου να ληφθεί υπόψιν η μη κανονικότητα των κυματισμών στη θάλασσα. Σε αυτή την περιγραφή, το σύνθετο κυματικό πεδίο διαιρείται σε ένα φάσμα πολλών κανονικών κυματισμών τα οποία χαρακτηρίζονται από το κυματικό διάνυσμα k και μία σχετική συχνότητα σ . Ακόμα και σήμερα πολλά μοντέλα πρόβλεψης θεωρούν αυτά τα φάσματα γραμμικά ούτως ώστε καθένα από αυτά να χαρακτηρίζεται από το διάνυσμα $k=(k_x, k_y)$ ή από το ζεύγος (σ, θ) όπου θ το μέτρο της κατεύθυνσης του κυματισμού. Αυτή η θεώρηση όμως δεν είναι

εφαρμόσιμη στην περίπτωση ύπαρξης ισχυρής μη γραμμικότητας (L. Cavaleri et al. / Progress in Oceanography 75 (2007) 603–674).



Εικόνα 2 Airy-Stokes-Cnoidal-Solitary Waves (linger.springer.com)

Όταν μία μεταβολή στο βάθος παρατηρηθεί, αναμένονται μεταβολές στον κυματισμό ακόμα και από γεωμετρική άποψη. Ακόμα και ένας καθαρά μονοχρωματικός κυματισμός έχει ένα πεπερασμένο όριο ύψους από γεωμετρική σκοπιά. Έτσι, για παράδειγμα όταν ένας κυματισμός καθώς διαδίδεται συναντά έναν κυματοθραύστη, το κυματικό πεδίο υπόκειται σε περίθλαση κατάντη αυτού. Αυτή η διαδικασία απαιτεί την αποτελεσματική επίλυση από ένα μοντέλο που θα υπολογίζει τις αλληλεπιδράσεις, ιδιαιτέρως σε σημεία διασταύρωσης κυματικών ακτινών. Γίνεται αντιληπτό λοιπόν ότι η γεωγραφική περιγραφή ενός πεδίου έχει καθοριστική επιρροή στα αριθμητικά σφάλματα. Αυτό γίνεται περισσότερο εμφανές στην περίπτωση παράκτιων περιοχών με μεγάλη διακύμανση των βαθών ή και στην ύπαρξη νησιών ή χερσονήσων που με μία εσφαλμένη σχεδίαση τους οδηγούν σε μη αντιπροσωπευτική απεικόνιση της απώλειας ενέργειας όταν έρχονται σε επαφή με κυματισμούς και της παρεμπόδισης της διάδοσης τους γύρω από αυτά.



Εικόνα 3 Διάδοση κυματισμού από τα βαθιά σε ρηγά νερά (geo.hunter.cuny.edu)

2.3 Τα Αριθμητικά Μοντέλα του Σήμερα

Από τη μεριά της φυσικής κατανόησης του προβλήματος, υπάρχει ανησυχία για την προσομοίωση σε αριθμητικά μοντέλα, κυρίως σε ακραία καιρικά φαινόμενα. Δεν είναι το χαρακτηριστικό ύψος κύματος (H_s) που δημιουργεί το πρόβλημα, αλλά η δύναμη με την οποία ο άνεμος επιδρά σε κυματισμούς, ιδίως σε κατάσταση όχι πλήρους αναπτυγμένης θάλασσας. Η δράση ενός πολύ ισχυρού ανέμου (π.χ. σε μία καταιγίδα) πάνω από μία όχι πλήρως αναπτυγμένη θαλάσσια επιφάνεια οδηγεί σε συνθήκες που αν κάποιος τις παρατηρήσει στο πεδίο αναρωτιέται για την ακρίβεια που μπορεί να προσφέρει μία προσομοίωση.

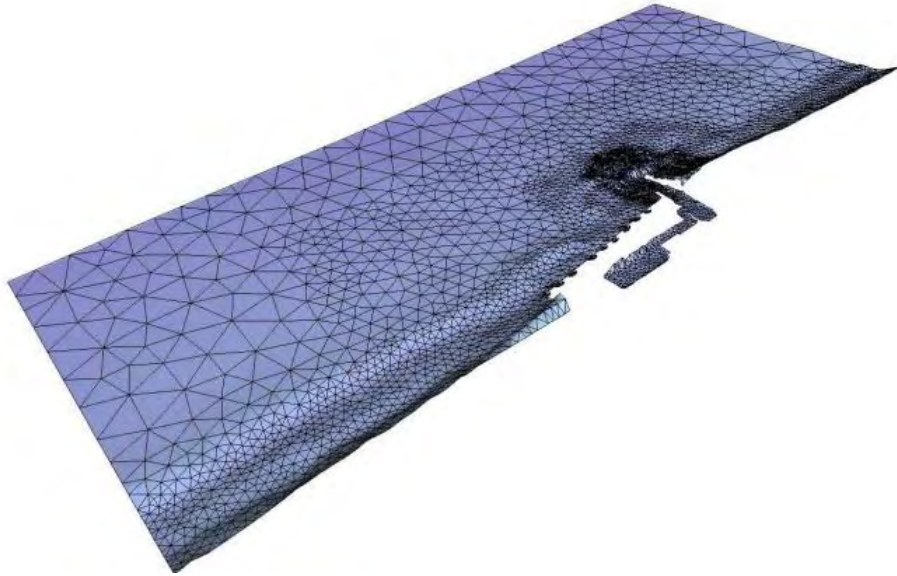
Η αλήθεια είναι πως τα τελευταία δέκα χρόνια, υπήρχε έντονη ανάπτυξη στα αριθμητικά μοντέλα, ιδίως για unstructured πλέγματα. Αυτό πραγματοποιήθηκε λόγω της ανάγκης υψηλής ανάλυσης σε παράκτιες περιοχές, ειδικά στις περιπτώσεις με πολύπλοκη γεωμετρία και βαθυμετρία. Φυσικά αυτή η εξέλιξη οδήγησε σε πιο σύνθετα αριθμητικά μοντέλα που απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή. Σε πολλές περιπτώσεις δημιουργείται από τα μοντέλα αυτά η απαίτηση της δέουσας προσοχής του χρήστη, ο οποίος καλείται να ελέγχει την εγκυρότητα των δεδομένων που εισάγονται και εξάγονται.

3.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ MIKE 21

3.1 Εισαγωγή στα εργαλεία και ρουτίνες του προγράμματος

Στην παρούσα διπλωματική εργασία για να μελετηθεί η δημιουργία ανεμογενών κυματισμών καθώς και η στερεομεταφορά στον λιμένα της Μεθώνης λόγω της ύπαρξης κυματοθραύστη, πραγματοποιήθηκε χρήση διάφορων εργαλείων καθώς και δύο υπορουτίνων των υπολογιστικών πακέτων MIKE 21 και MIKE Zero της εταιρίας DHI (Danish Hydraulic Institute).

Στο Κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται μια εκτεταμένη θεωρητική εισαγωγή στο περιβάλλον χρήσης του προγράμματος για τα εργαλεία (Image rectifier, Bathymetries, Mesh Generator) και τα μοντέλα (MIKE 21 Spectral Waves FM, MIKE 21 Flow Model FM) που χρησιμοποιήθηκαν, με ταυτόχρονη αναφορά στις ρυθμίσεις που επιλέχθηκαν για την περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας. Οι πληροφορίες για τα προηγούμενα συνοδεύονται από στοιχεία που έχουν ληφθεί από τα εγχειρίδια του προγράμματος της εταιρίας DHI. Η προσομοίωση των κυματικών και υδροδυναμικών φαινομένων πραγματοποιήθηκε για πραγματικές καιρικές συνθήκες της περιοχής, μέσω της χρήσης ανεμολογικών στοιχείων που λήφθηκαν από την EMY.



Εικόνα 4 Εικόνα από το εγχειρίδιο του προγράμματος

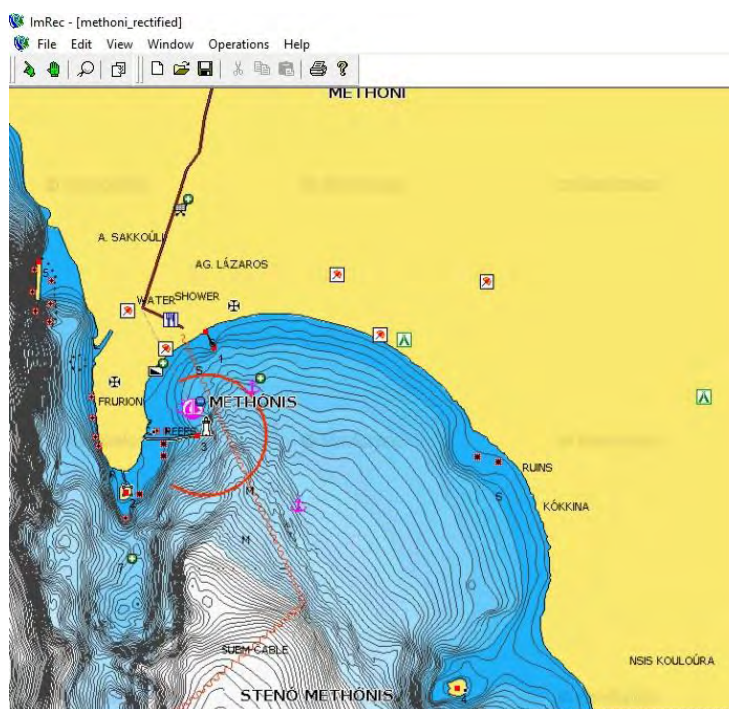
3.2 Περιγραφή των εργαλείων του MIKE

3.2.1 Περιγραφή του εργαλείου Image Rectifier

Το Image rectifier είναι ένα εργαλείο του προγράμματος MIKE το οποίο χρησιμοποιείται για την εισαγωγή πληροφοριών σε μια εικόνα που εισάγεται, όπως την εισαγωγή πραγματικών συντεταγμένων (όπως και έγινε στην παρούσα εργασία). Για την καλύτερη κατανόηση της έννοιας Rectification θα πραγματοποιηθεί μια σύντομη περιγραφή αυτής. Rectification είναι η διαδικασία μετατροπής των δεδομένων ενός συστήματος αναφοράς σε ένα άλλο. Με άλλα λόγια, το εργαλείο Image Rectifier μπορεί να στρέψει ή να δώσει κλίση σε μία εικόνα, με στόχο να ευθυγραμμίζεται με το σύστημα συντεταγμένων του εκάστοτε χάρτη για την περιοχή μελέτης.

Η χρήση του εργαλείου είναι απαραίτητη διότι μια εικόνα δημιουργείται για να χρησιμοποιηθεί ως background σε πρόγραμμα με βάση δεδομένων GIS, με το οποίο θα πρέπει να ευθυγραμμίζεται. Η εικόνα αυτή μπορεί να έχει ληφθεί από κάποιον ήδη σχεδιασμένο χάρτη είτε να είναι μια εικόνα από το διαδίκτυο. Το output λοιπόν θα είναι μια εικόνα με γεωαναφορά με ακριβείς συντεταγμένες και συνεπώς ορθή χρήση μηκών για την ανάπτυξη κυματισμών σε επόμενα βήματα.

Ο ορισμός των συντεταγμένων στην παρούσα εργασία έγινε με εύρεση της ζώνης UTM (Universal Transverse Mercator) της περιοχής (UTM-34) και έπειτα εύρεση των συντεταγμένων (σε μορφή X: Easting, Y: Northing) αυτής με χρήση του προγράμματος Google Earth.



Εικόνα 5 Περιβάλλον χρήσης του Image Rectifier από την παρούσα εργασία

3.2.2 Περιγραφή των εργαλείων Bathymetry Editor και Mesh Generator

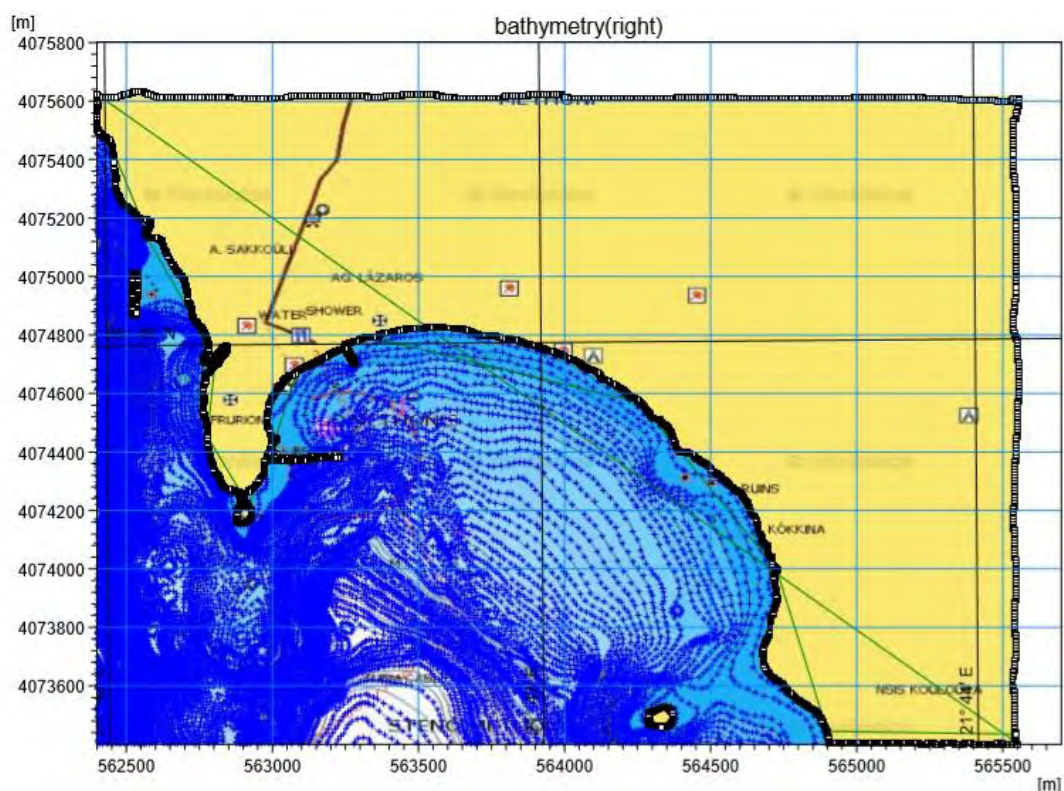
Τα εργαλεία Bathymetry Editor και Mesh Generator παρέχουν στο χρήστη ένα περιβάλλον για τη δημιουργία, επεξεργασία και προβολή αναλυτικών ψηφιακών 2D (δισδιάστατων) χαρτών βαθυμετρίας. Το εργαλείο Bathymetry Editor δημιουργεί βαθυμετρίες σε ορθογωνικό κάναβο, ενώ το Mesh Generator εξάγει βαθυμετρίες σε flexible mesh format.

Το πρόγραμμα επιτρέπει στο χρήστη τη δυνατότητα χρήσης δεδομένων από εξωτερικές πηγές με έτοιμα δεδομένα βαθυμετρίας (όπως xyz soundings, xyz contours, MIKE 21/MIKE 3 formatted data), είτε τη χειροκίνητη δημιουργία δεδομένων με τη χρήση των built-in εργαλείων σχεδιασμού. Στη χειροκίνητη διαδικασία σχεδιασμού, εικόνες οι οποίες έχουν σχεδιασθεί στο Image Rectifier μπορούν να εισαχθούν και να χρησιμοποιηθούν ως background, ώστε να αναπτυχθούν πάνω τους τα δεδομένα της βαθυμετρίας.

3.2.2.1 Bathymetry Editor

Στην παρούσα εργασία έγινε χρήση της χειροκίνητης επιλογής σχεδιασμού με τη χρήση της εικόνας που δημιουργήθηκε από το Image Rectifier. Έτσι, με χρήση αυτού του εργαλείου βαθυμετρίας (.batsf) εισήχθησαν οι ισοβαθείς του λιμένα της Μεθώνης

με ακρίβεια ανά 0.5 μέτρα, καθώς και ορίστηκαν τα όρια της στεριάς προκειμένου να αντληφθεί το πρόγραμμα ποιο είναι το υδάτινο περιβάλλον. Το πρόγραμμα τελικά εξάγει δύο αρχεία water και land (μορφής .xyz).

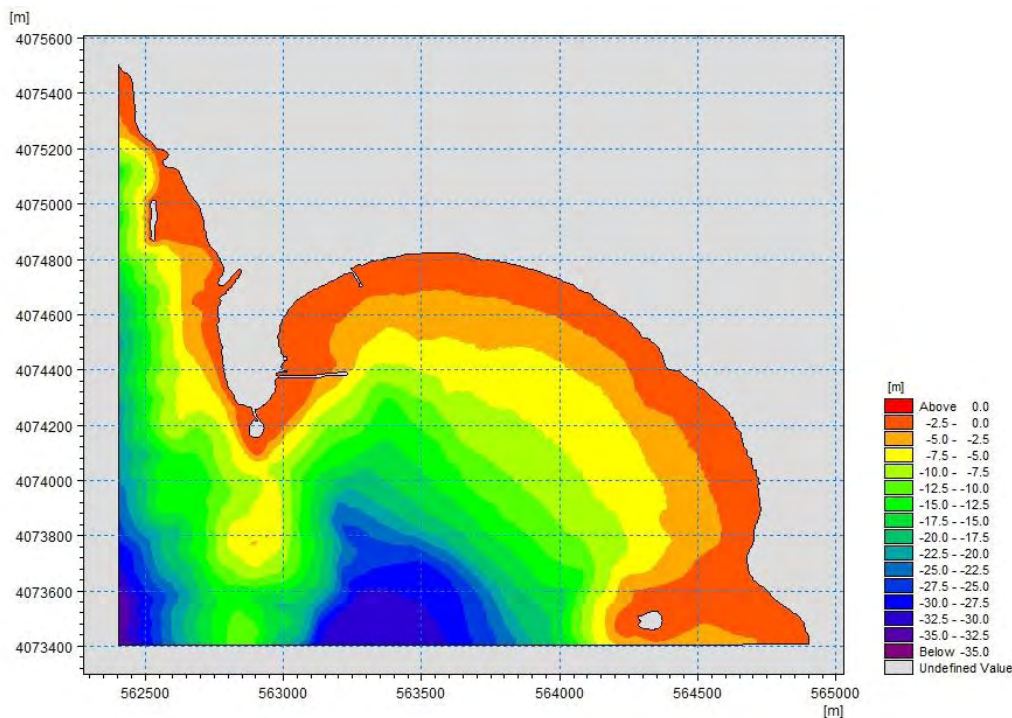


Εικόνα 6 Βαθυμετρία της Μεθώνης με χρήση του εργαλείου Bathymetry Editor

3.2.2.2 Mesh Generator

Το εργαλείο Mesh Generator κατασκευάζει πλέγματα (mesh) που μπορούν να αποτελούνται τόσο από τριγωνικά, όσο και από τετραγωνικά στοιχεία. Με πιο απλά λόγια η περιοχή μελέτης διαιρείται σε μικρότερες περιοχές οι οποίες περιγράφονται από πολύγωνα. Κάθε πολύγωνο μπορεί να έχει τριγωνικό ή τετράγωνο πλέγμα εσωτερικά αυτού. Γενικά, στο παρόν πρόγραμμα χρησιμοποιείται συνήθως επιλογή του τριγωνικού πλέγματος (triangular mesh).

Με την εντολή Insert Polygons στην περιοχή της στεριάς δημιουργούμε κλειστά πολύγωνα και ορίζουμε στο πρόγραμμα τα όρια της ξηράς (για αριθμούς μεγαλύτερους του 0) ώστε το πρόγραμμα να «αντληφθεί» ότι δεν μπορεί να υπερβεί το νερό τα όρια αυτά. Έπειτα, με την εντολή interpolation με επιλογή natural neighbor δημιουργούμε μέσω των πολυγώνων ενιαία βαθυμετρία. Ουσιαστικά, το Mesh Generator συμπληρώνει τις πληροφορίες της βαθυμετρίας από τις ισοβαθείς που δημιουργήθηκαν από το Bathymetry Editor γειμίζοντας τα σημεία μεταξύ αυτών που περιέχονται ανά περιοχή πολυγώνου.



Εικόνα 7 Αποτέλεσμα του Mesh Generator στην περιοχή μελέτης

3.3 Περιγραφή της υπορουτίνας MIKE 21 Spectral Waves FM (MIKE SW)

3.3.1 Γενική εισαγωγή στο μοντέλο

Το MIKE 21 SW εφαρμόζει ένα φασματικό μοντέλο ανέμου-κύματος νέας γενιάς, το οποίο προσομοιώνει την ανάπτυξη, την εξασθένηση και τη μετατροπή ανεμογενών κυματισμών σε ζώνη βαθέων νερών και σε παράκτιες περιοχές. Το μοντέλο περιλαμβάνει δύο διαφορετικά είδη σύνθεσης:

- Κατευθυντική ανάλυση μεμονωμένων παραμέτρων
- Πλήρως φασματική ανάπτυξη

Η κατευθυντική ανάλυση μεμονωμένων παραμέτρων στην παραμετροποίηση της εξίσωσης διατήρησης της κυματικής δράσης. Η παραμετροποίηση αυτή πραγματοποιείται στο πεδίο των συχνοτήτων, εισάγοντας τη μηδενική και την πρώτη στιγμή του φάσματος ως ανεξάρτητες μεταβλητές, βάσει του Holthuijsen (1989).

Η πλήρως φασματική ανάπτυξη βασίζεται στην εξίσωση διατήρησης της κυματικής δράσης, όπως αυτή έχει περιγραφεί από τους Komen et al. (1994) και Young (1999), όπου το φάσμα της κυματικής δράσης της κατευθυντικής συχνότητας αποτελεί ανεξάρτητη μεταβλητή.

Οι βασικές εξισώσεις διατήρησης μπορούν να περιγραφούν είτε με καρτεσιανές συντεταγμένες για εφαρμογές μικρής κλίμακας είτε με πολικές για εφαρμογές μεγαλύτερης κλίμακας.

Το MIKE 21 SW περιλαμβάνει τα παρακάτω φυσικά φαινόμενα:

- Ανάπτυξη κυματισμών λόγω της δράσης ανέμου
- Μη γραμμική αλληλεπίδραση κυματισμών
- Διασπορά λόγω θραύσης σε ανοιχτή θάλασσα
- Διασπορά λόγω τριβής του πυθμένα
- Διασπορά λόγω θραύσης κυματισμών (προκαλούμενη από το βάθος)
- Διάθλαση και ρήγωση λόγω μεταβολής του βάθους
- Αλληλεπίδραση ρεύματος και κυματισμού
- Επίδραση του χρονικά μεταβαλλόμενου βάθους της θάλασσας
- Πλημμύρα και ξηρασία

Τα βασικά στοιχεία εξόδου του μοντέλου είναι κυματικές παράμετροι, όπως το σημαντικό ύψος κύματος (H_{m0}), η περίοδος αιχμής (T_p), η μέση περίοδος (T_{01}), η μέγιστη και μέση κατεύθυνση των κυματισμών (θ_p και θ_m αντίστοιχα), η κατευθυντική τυπική απόκλιση (σ) καθώς επίσης και οι τάσεις ακτινοβολίας (S_{xx} , S_{xy} , S_{yy}).



Εικόνα 8 Συνηθισμένες περιπτώσεις εφαρμογής του μοντέλου (εικόνα εγχειριδίου)

3.3.2 Βασικές εξισώσεις του μοντέλου

Στο MIKE 21 SW, οι ανεμογενείς κυματισμοί εκφράζονται από την πυκνότητα δράσης $N(\sigma, \theta)$, με ανεξάρτητες παραμέτρους είτε τη σχετική γωνιακή συχνότητα ($\sigma = 2\pi f$) είτε την απόλυτη γωνιακή συχνότητα $\omega = 2\pi f_a$ και τη γωνία πρόσπτωσης

του κυματισμού θ . Η πυκνότητα δράσης, $N(\sigma, \theta)$, συνδέεται με την πυκνότητα της ενέργειας $E(\sigma, \theta)$ με τη σχέση:

$$N = \frac{E}{\sigma}$$

Για τη διάδοση των κυματισμών η σχέση μεταξύ της γωνιακής συχνότητας (σ) και της απόλυτης γωνιακής συχνότητας (ω) περιγράφεται από τη σχέση:

$$\sigma = \sqrt{gk \tanh(kd)} = \omega - \bar{k} \bar{U}$$

Όπου g η επιτάχυνση της βαρύτητας, d το βάθος του νερού, \bar{U} το διάνυσμα της ταχύτητας του ρεύματος και \bar{k} το διάνυσμα του κύματος (k το μέτρο του).

ο Φασματική ανάπτυξη

Η εξίσωση που διέπει το MIKE 21 SW είναι η εξίσωση διατήρησης της κυματικής δράσης η οποία μπορεί να εκφραστεί είτε σε καρτεσιανές συντεταγμένες είτε σε σφαιρικές (βλ. Komen et al. (1994) and Young (1999)).

Σε οριζόντιες καρτεσιανές συντεταγμένες, η εξίσωση διατήρησης της κυματικής δράσης εκφράζεται από τον τύπο:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{v}N) = \frac{S}{\sigma}$$

Όπου $N(\bar{x}, \sigma, \theta, t)$ η πυκνότητα δράσης, t ο χρόνος, $\bar{x} = (x, y)$ οι καρτεσιανές συντεταγμένες, $\bar{v} = (c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$ η ταχύτητα διάδοσης μίας ομάδας κυμάτων στις τέσσερις διαστάσεις του χώρου του \bar{x} , S η πηγή για την εξίσωση ισορροπίας της κυματικής ενέργειας, ∇ ο διαφορικός τελεστής τεσσάρων διαστάσεων στο χώρο \bar{x}, σ, θ . Οι τέσσερις χαρακτηριστικές ταχύτητες διάδοσης δίνονται από τις σχέσεις:

$$(c_x, c_y) = \frac{d\bar{x}}{dt} = \bar{c}_g + \bar{U}$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left[\frac{\partial d}{\partial t} + \bar{U} \cdot \nabla_{\bar{x}} d \right] - c_g \bar{k} \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial s}$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \bar{k} \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial m} \right]$$

Εδώ, το s είναι η χωρική συντεταγμένη της κατεύθυνσης του κυματισμού θ , και m είναι η συντεταγμένη κάθετη στο s , $\nabla_{\bar{x}}$ είναι ο δισδιάστατος διαφορικός τελεστής στο χώρο \bar{x} .

ο Εξίσωση πηγής

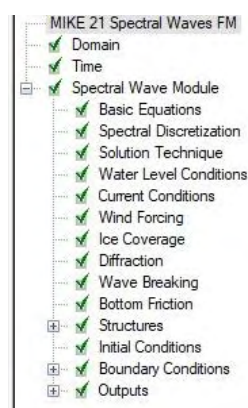
Ο όρος της ενέργειας της πηγής, S , αντιπροσωπεύει την τοποθέτηση των εξισώσεων της πηγής που περιγράφουν διάφορα φυσικά φαινόμενα

$$S = S_{in} + S_{n1} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf}$$

Όπου, το S_{in} αντιπροσωπεύει τη δημιουργία ενέργειας λόγω ανέμου, S_{n1} είναι η διάδοση της κυματικής ενέργειας λόγω μη γραμμικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των κυματισμών, S_{ds} είναι η διασπορά της κυματικής ενέργειας λόγω θράυσης των κυματισμών, S_{bot} είναι η διασπορά λόγω τριβής του πυθμένα και S_{surf} είναι η διασπορά της κυματικής ενέργειας λόγω θραύσης από το βάθος.

3.3.3 Εφαρμογή και καθορισμός παραμέτρων εισόδου στο MIKE 21 SW

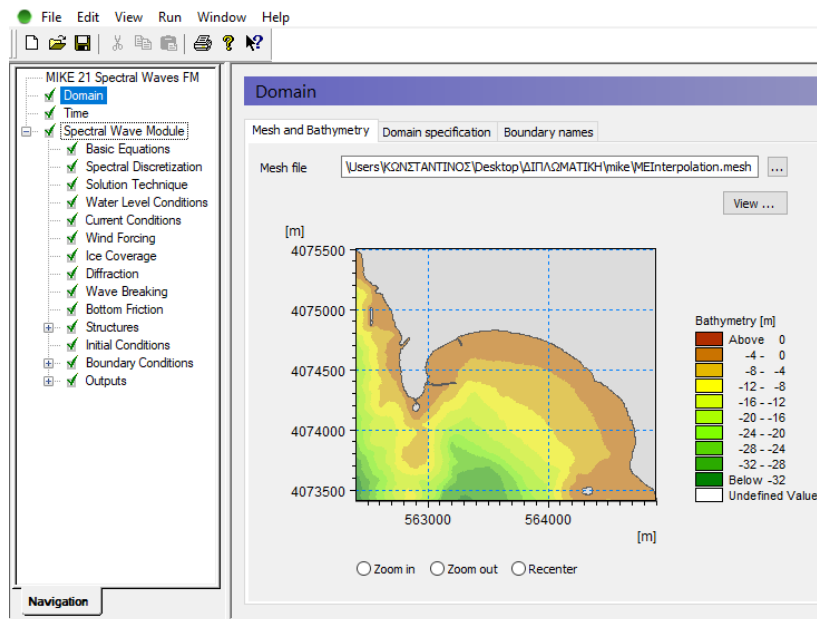
Στην παρούσα διπλωματική εργασία, όπως προαναφέρθηκε, εξετάζεται η ανάπτυξη κυματισμών από ανέμους στο λιμένα της Μεθώνης, με στόχο τον υπολογισμό της στερεομεταφοράς εξαιτίας αυτών των κυματισμών. Για την προσομοίωση του πρώτου σταδίου του προβλήματος (ανεμογενείς κυματισμοί) χρησιμοποιήθηκε το MIKE 21 SW. Το πρόγραμμα αυτό εμφανίζει ένα δενδροδιάγραμμα με τις απαραίτητες πληροφορίες εισόδου που πρέπει να δοθούν για την επίτευξη μίας αντιπροσωπευτικής προσομοίωσης, όπως αυτές θα αναλυθούν παρακάτω και θα επεξηγηθεί η ρύθμισή τους.



Εικόνα 9 Δενδροδιάγραμμα των ρυθμίσεων του προγράμματος MIKE 21 SW

3.3.3.1 Γενικές ρυθμίσεις

- Πεδίο εφαρμογής (Domain)

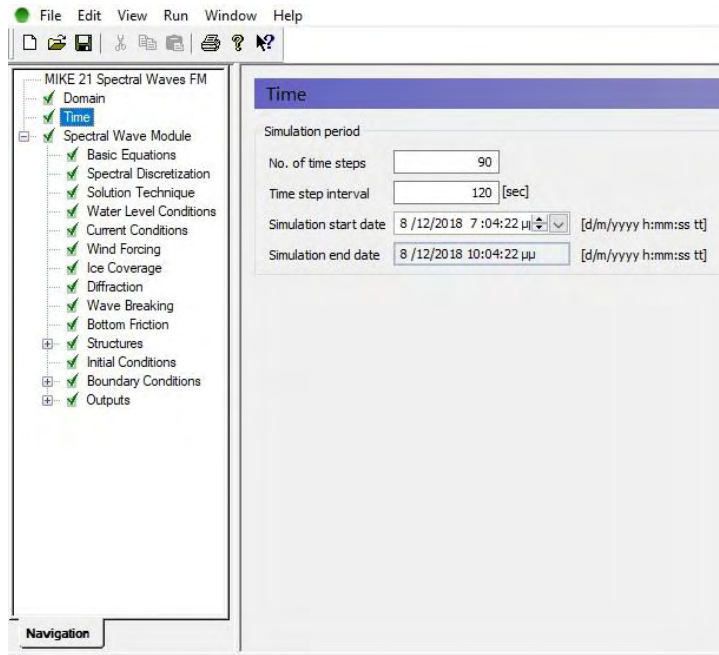


Εικόνα 10 Καρτέλα domain προγράμματος MIKE 21 SW

Σε αυτή την παράμετρο δόθηκε στο πρόγραμμα ο κατάλληλος κানাβος που δημιουργήθηκε σε προηγούμενο στάδιο στο Mesh generator. Η σωστή περιγραφή του βάθους στο πεδίο του μοντέλου είναι ένα από τα πιο σημαντικά στάδια της προσομοίωσης και επηρεάζει καθοριστικά τα αποτελέσματα που πρόκειται να εξαχθούν.

- Χρονικό διάστημα (Time)

Εδώ ορίζεται το χρονικό διάστημα του φαινομένου, αλλά κυρίως η χρονική διάρκεια. Επιπλέον, ορίζεται ο αριθμός των time step καθώς και η διάρκεια τους. Στην παρούσα εργασία ορίσαμε χρονική διάρκεια τρεις ώρες, 90 time step και διάρκεια αυτών 120 δευτερόλεπτα (το πρόγραμμα δηλαδή εξάγει μετρήσεις κάθε 120 δευτερόλεπτα).



Εικόνα 11 Καρτέλα Time προγράμματος MIKE 21 SW

3.3.3.2 Παράμετροι για το Spectral Wave Module

- Βασικές Εξισώσεις
 - Φασματική διαμόρφωση (Spectral formulation)

Σε αυτή την παράμετρο παρέχονται δύο τύποι formulation:

- Directionally decoupled parametric formulation
- Fully spectral formulation

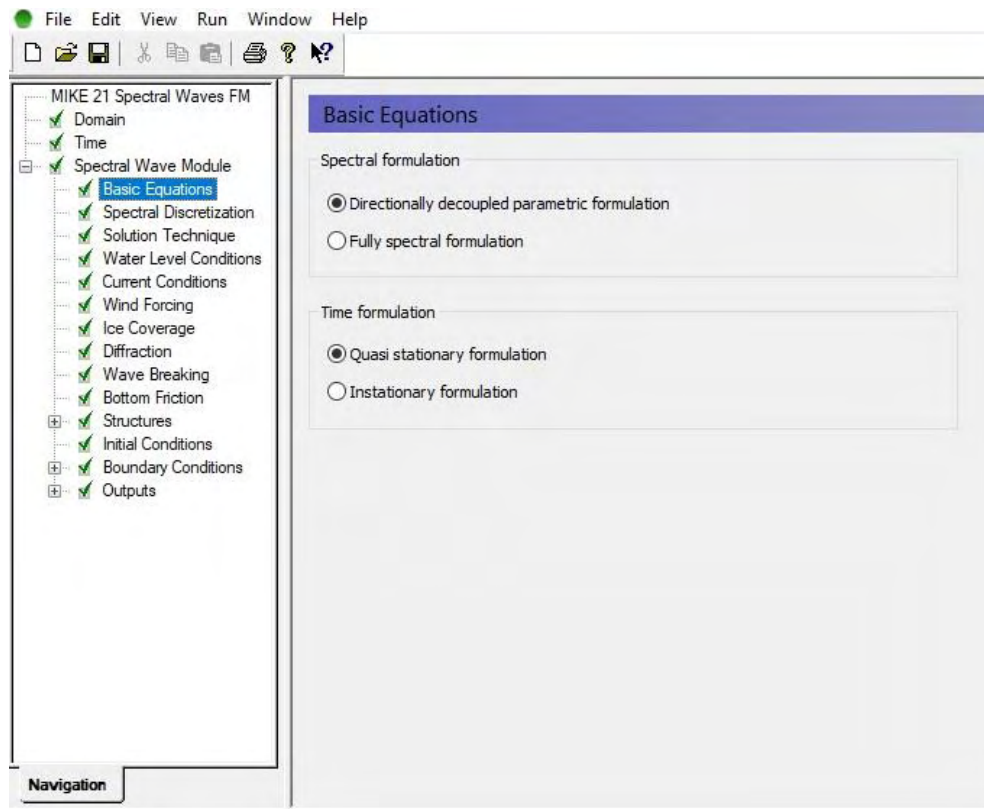
Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας επιλέχθηκε η ρύθμιση Directionally decoupled formulation, η οποία βασίζεται στην παραμετροποίηση της εξίσωσης της διατήρησης κυματικής δράσης, όπως αυτή περιγράφηκε από τους Holthuijesen et al. (1989). Αυτή η παραμετροποίηση πραγματοποιείται στο πεδίο των συχνοτήτων εισάγοντας την μηδενική και πρώτη στιγμή του φάσματος της κυματικής δράσης ως εξαρτημένες μεταβλητές. Η συμβουλή του οδηγού του μοντέλου για ανεμογενή ανάπτυξη κυματισμού είναι η πλήρως φασματική παραμετροποίηση, ωστόσο με εφαρμογή δοκιμαστικά και των δύο περιπτώσεων στα πλαίσια της εργασίας είδαμε ότι οι μεταβολές στα αποτελέσματα είναι αμελητέες, ενώ ταυτόχρονα η πλήρως φασματική διακριτοποίηση ήταν πολύ χρονοβόρα υπολογιστικά. Η Directionally decoupled formulation είναι υπολογιστικά λιγότερο απαιτητική.

- Χρονική διαμόρφωση (Time formulation)

Εδώ παρέχονται από το module δύο τύποι διαμόρφωσης:

- Quasi-stationary formulation
- Instationary formulation

Η επιλογή για το παρόν πρόβλημα ήταν η Quasi-stationary formulation (τύπος σχεδόν στατικών κυμάτων), στην οποία ο χρόνος δε θεωρείται ανεξάρτητη μεταβλητή και μία λύση σταθερής κατάστασης υπολογίζεται σε κάθε χρονικό βήμα (time step), το οποίο εξοικονομεί πολύτιμο υπολογιστικό χρόνο και είναι κατάλληλο για την περίπτωση που αντιμετωπίζεται.



Εικόνα 12 Καρτέλα Basic equations του προγράμματος MIKE 21 SW

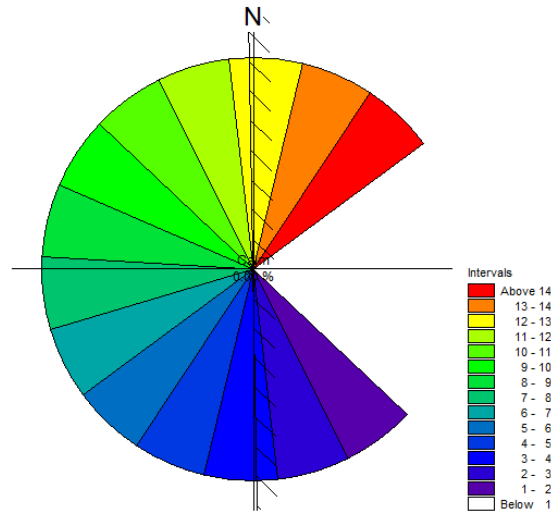
- Φασματική διακριτοποίηση (Spectral Discretization)

Η εξαρτημένη μεταβλητή στη φασματική διαμόρφωση είναι το φάσμα της κατευθυντικής συχνότητας της κυματικής δράσης σε κάθε κόμβο του κανάβου. Πιο συγκεκριμένα σε αυτή την καρτέλα προσδιορίζονται διακριτές συχνότητες και κατευθύνσεις που χρησιμοποιούνται για να αναλυθεί υπολογιστικά το φάσμα της κυματικής δράσης.

- Κατευθυντική διακριτοποίηση

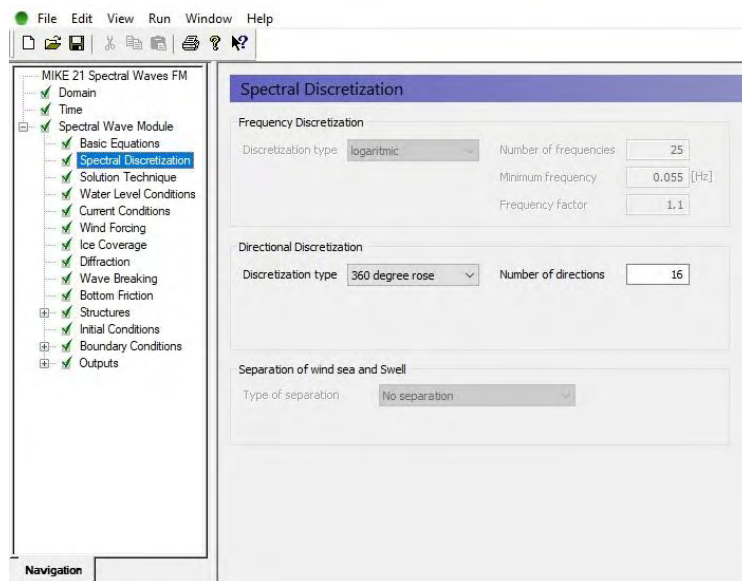
Επιλέγοντας σαν τύπο χρονικής διαμόρφωσης την Quasi-stationary formulation, πρέπει εν συνεχεία να ρυθμιστεί η κατευθυντική διακριτοποίηση. Αυτή διαμορφώνεται σε δύο διαφορετικές μορφές:

1. 360 μοιρών, το οποίο λαμβάνει υπόψιν ανέμους/κύματα/swell από διαφορετικές κατευθύνσεις
2. Κατευθυντικού τομέα, στο οποίο ορίζεται από τον χρήστη ο αριθμός των κατευθύνσεων καθώς και η ελάχιστη και μέγιστη κατεύθυνση. Η διακριτοποίηση γίνεται καλύτερα αντιληπτή από την παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 13 Directional discretization για φάσμα από 135 έως 45 μοίρες

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η ρύθμιση 360 degree rose. Έτσι το μοντέλο λαμβάνει υπόψιν τους κυματισμούς για όλες τις κατευθύνσεις.



Εικόνα 14 Καρτέλα Spectral Discretization του προγράμματος MIKE 21 SW

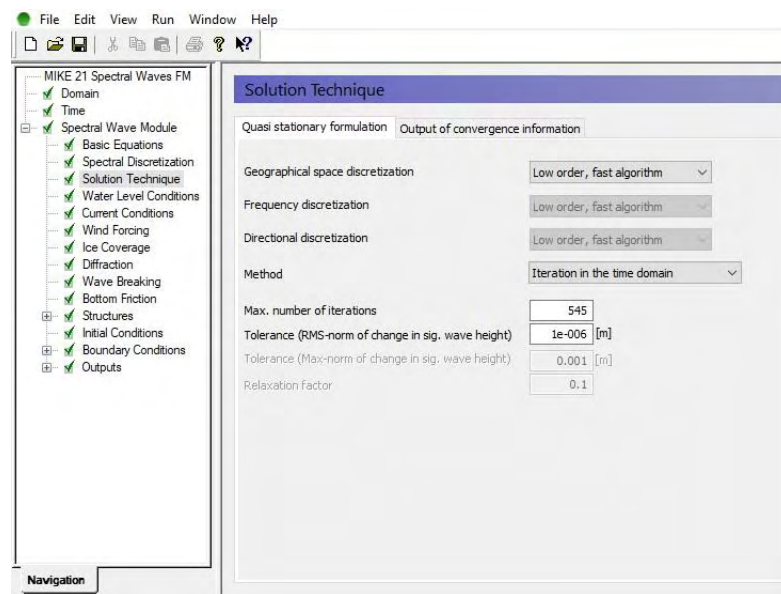
- Τεχνική επίλυσης (Solution Technique)

Η διακριτοποίηση σε γεωγραφικό και φασματικό χώρο πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας μία μέθοδο πεπερασμένου όγκου. Στο γεωγραφικό χώρο, ένας μη δομημένος (unstructured) κάρβος χρησιμοποιείται. Το χωρικό πεδίο διακριτοποιείται από μία υποδιαίρεση της συνέχειας σε μη επικαλυπτόμενα (non-overlapping) στοιχεία. Η διακριτοποίηση του γεωγραφικού χώρου που επιλέχθηκε σε αυτή την περίπτωση για υπολογιστικούς λόγους είναι η low order (faster algorithm).

- Μέθοδος επίλυσης

Για την επίλυση του προβλήματος σε κάθε χρονικό βήμα για την quasi-stationary μπορούν να επιλεγθούν μία από τις παρακάτω μεθόδους:

- Επαναληπτική διαδικασία Newton-Raphson:
Επίλυση μη γραμμικών εξισώσεων η οποία τερματίζει όταν ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων πραγματοποιηθεί ή αν η τιμή RMS (root-mean-square) γίνει μεγαλύτερη από τις δύο τιμές ανοχής που υπέδειξε ο χρήστης.
- Επαναληπτική διαδικασία στο χρονικό πεδίο
Επίλυση μη γραμμικών εξισώσεων η οποία τερματίζει όταν ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων πραγματοποιηθεί ή αν η τιμή RMS (root-mean-square) γίνει μεγαλύτερη από την τιμή ανοχής που υπέδειξε ο χρήστης.



Εικόνα 15 Καρτέλα Solution technique του προγράμματος MIKE 21 SW

- Ανεμολογικά δεδομένα

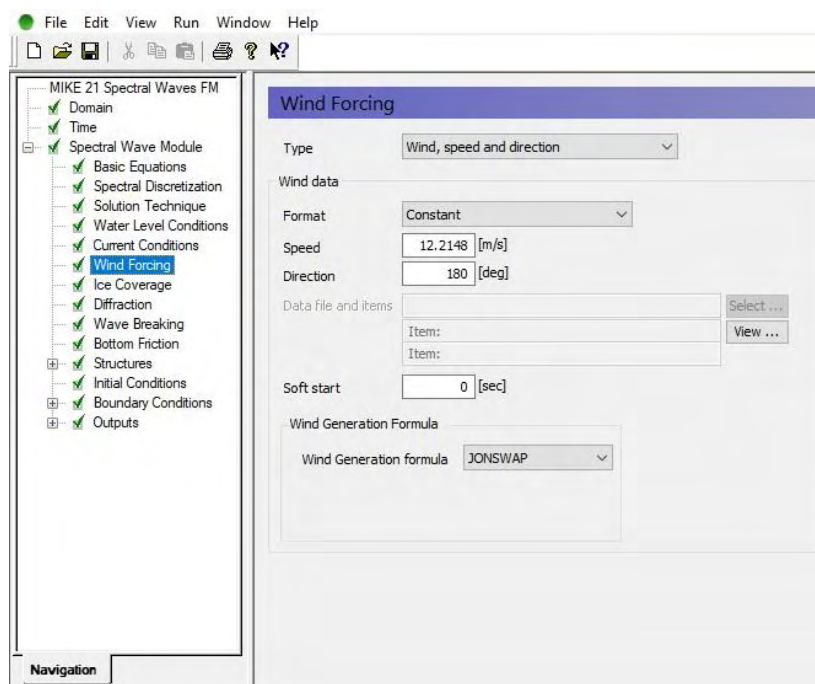
Η επιτυχής πρόβλεψη των κυματισμών εξαρτάται άμεσα από τον ακριβή ορισμό των πεδίων του ανέμου που προέρχονται από μετεωρολογικά μοντέλα ή από

ανάλυση. Εφόσον ο άνεμος είναι η κινητήριος δύναμη δημιουργίας κυματισμών, το σημαντικότερο όφελος στο Spectral Wave module είναι ο καθορισμός αντιπροσωπευτικών ανέμων.

Οι άνεμοι μπορούν να οριστούν με τρεις διαφορετικούς τρόπους στο πρόγραμμα:

1. Καθόλου άνεμος
2. Καθορισμός ανέμου, ταχύτητας και κατεύθυνσης
3. Καθορισμός ανέμου και συνιστωσών ταχύτητας

Στην προκειμένη περίπτωση με γνώση των ανεμολογικών στοιχείων (πηγή δεδομένων: ΕΜΥ) που αφορούν το λιμένα της Μεθώνης, ορίστηκε η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου. Ως ταχύτητα εισάγεται η χαρακτηριστική ταχύτητα ανέμου μετρημένη δέκα μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας (U_{10}) και κατεύθυνση μετρούμενη σε μοίρες από τον βορρά. Όπως προαναφέρθηκε, υπόψιν λήφθηκαν τρεις κατευθύνσεις ανέμων με ένταση από τέσσερα έως οκτώ μποφόρ.

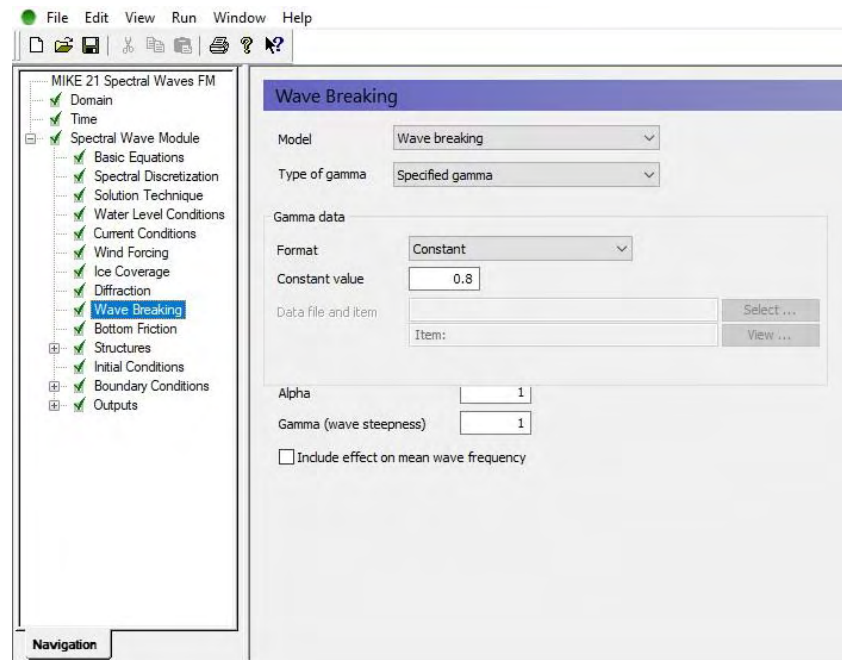


Εικόνα 16 Καρτέλα Wind forcing του προγράμματος MIKE 21 SW

- Θραύση κυματισμών (Wave breaking)

Θραύση κυματισμών προκαλούμενη από το βάθος είναι η διαδικασία κατά την οποία οι κυματισμοί είναι τόσο υψηλοί που δεν μπορούν να στηριχθούν από το βάθος του νερού, δηλαδή φθάνουν το όριο του ύψους του κυματισμού προς το βάθος.

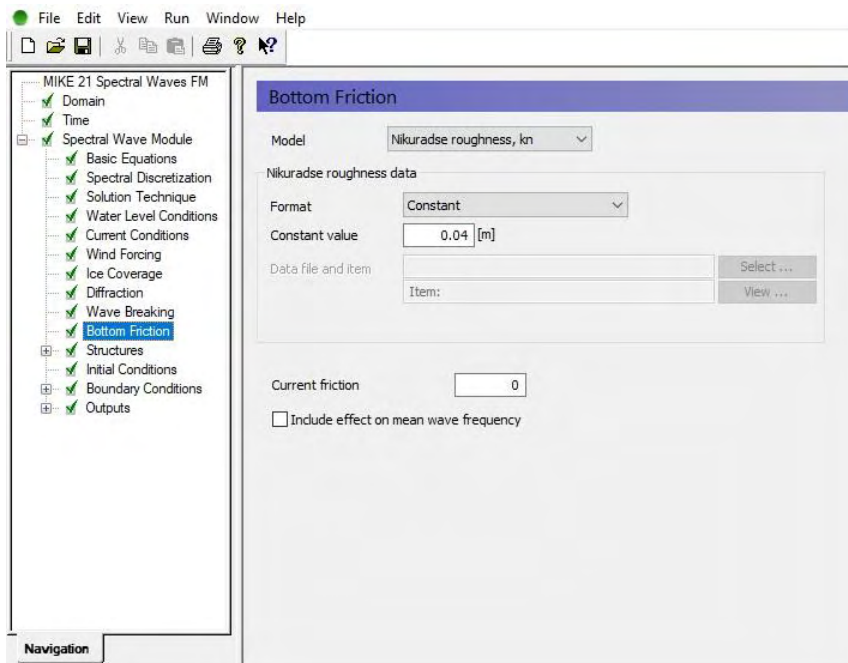
Η διατύπωση που χρησιμοποιείται από το συγκεκριμένο μοντέλο βασίζεται σε αυτή των Battjes and Janssen (1978). Επίσης στην περίπτωση ύπαρξης θραύσεως των κυματισμών ζητείται από το μοντέλο ο καθορισμός της παραμέτρου Gamma, της οποίας όσο η τιμή αυξάνεται τόσο μειώνεται η πιθανότητα θραύσης.



Εικόνα 17 Καρτέλα Wave breaking του προγράμματος MIKE 21 SW

- Τριβή πυθμένα (Bottom Friction)

Καθώς οι κυματισμοί διαδίδονται σε ρηγά νερά, η τροχιά των ταχυτήτων των κυματισμών διαπερνά το βάθος, και η εξίσωση πηγής λόγω διεπαφής κυματισμού και πυθμένα γίνεται σημαντική. Για τον ορισμό αυτής της παραμέτρου χρησιμοποιήθηκαν οι προεπιλεγμένες τιμές του μοντέλου.



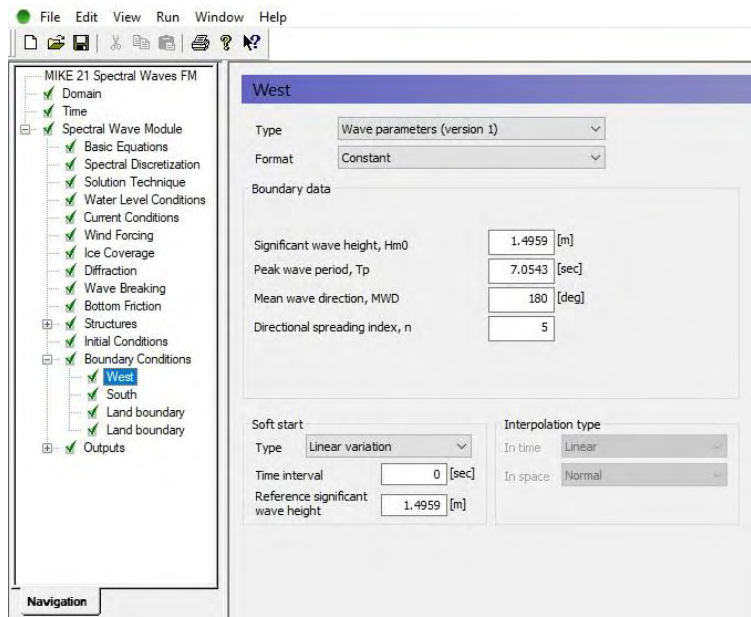
Εικόνα 18 Καρτέλα Bottom Friction του προγράμματος MIKE 21 SW

- Συνοριακές συνθήκες (Boundary Conditions)

Αρχικά, ο προκατασκευασμένος επεξεργαστής του μοντέλου ελέγχει και ενσωματώνει τους κόμβους των συνόρων που έχουν κατασκευαστεί από τον κάναβο (mesh). Στη συνέχεια ζητείται από το πρόγραμμα ο καθορισμός του τύπου των συνοριακών συνθηκών. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ανάμεσα σε εννέα διαφορετικούς τύπους:

1. Κλειστό όριο (closed boundary)
2. Κυματικές παράμετροι (Εκδόσεις 1 και 2)
3. Ανεμολογικοί και swell παράγοντες (Εκδόσεις 1 και 2)
4. Φάσμα κυματικής δράσης
5. Φάσμα κυματικής ενέργειας
6. Πλευρικό όριο
7. Όριο αντανάκλασης

Στη συγκεκριμένη εργασία επειδή στόχος είναι η παραγωγή κυματισμών με μοναδική αιτία ανεμολογικά δεδομένα. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε για τα θαλάσσια όρια η χρήση του τύπου wave parameters 1, ορίζοντας τα χαρακτηριστικά των κυματισμών μέσω της χρήσης δεδομένων με εφαρμογή της μεθόδου SBM για τον καθορισμό των παραμέτρων σημαντικό ύψος κύματος, περίοδος αιχμής, κύρια κατεύθυνση κυματισμού και δείκτης κατευθυντικής διάδοσης στα βαθιά.



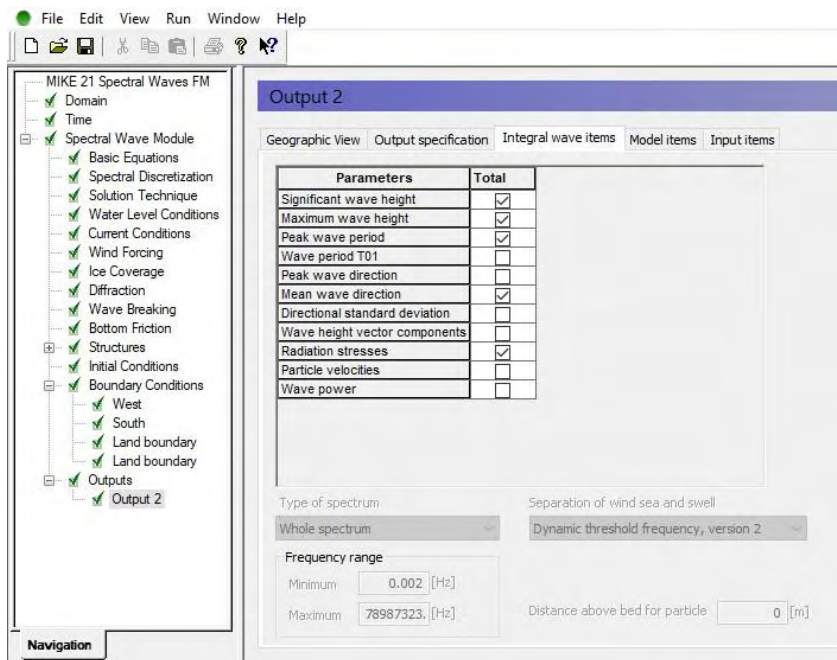
Εικόνα 19 Καρτέλα Boundary Conditions του προγράμματος MIKE 21 SW

- Στοιχεία εξόδου του προγράμματος (Output)

Σε αυτό το σημείο καθορίζεται το output specification μόνο για το θαλάσσιο κομμάτι του σχεδίου επιλέγοντας only real wet area.

Επιλογή παραμέτρων εξόδου από το πρόγραμμα:

Οι παράμετροι αυτές όπως φαίνονται στην παρακάτω εικόνα έχουν οριστεί σαν έννοιες σε προηγούμενο κεφάλαιο και επιλέγονται καταλλήλως για την διεξαγωγή της διαδικασίας της στερεομεταφοράς όπως θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 20 Καρτέλα Outputs του προγράμματος MIKE 21 SW

3.4 Περιγραφή της υπορουτίνας MIKE 21 Flow Model FM – Hydrodynamic Module

3.4.1 Γενική εισαγωγή στο μοντέλο

Το MIKE 21 Flow Model FM είναι ένα νέο πρόγραμμα προσομοίωσης που αναπτύχθηκε για εφαρμογές σε περιβάλλοντα ωκεανογραφικά, παράκτια και σε εκβολές ποταμών. Το υδροδυναμικό μοντέλο (Hydrodynamic Module) είναι η βασική υπολογιστική συνιστώσα για την υδροδυναμική βάση για την προσομοίωση των παρακάτω αυτόνομων μοντέλων:

- Transport Module
- MIKE ECO Lab/Oil Spill Module
- Particle Tracking Module
- Mud Transport Module
- Sand Transport Module

Το υδροδυναμικό module βασίζεται στην αριθμητική επίλυση των δισδιάστατων εξισώσεων σε ρηγά νερά (shallow water equations), των εξισώσεων Navier-Stokes. Το μοντέλο αυτό προσομοιώνει τη μεταβολή της στάθμης του νερού και τη ροή. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό ανεμογενών και κυματογενών ρευμάτων.

Τα κύρια χαρακτηριστικά και οι επιδράσεις που εμπεριέχονται στο μοντέλο είναι τα εξής:

- Οι μεταβολές της στάθμης της θάλασσας (flooding and drying)

- Η διασπορά της ορμής (momentum dispersion)
- Η διατμητική τάση στον πυθμένα (bottom shear stress)
- Η διατμητική τάση από τον άνεμο
- Η μεταβολή της βαρομετρικής πίεσης (Barometric pressure gradients)
- Οι παροχές εισόδου και εξόδου (sources and sinks)
- Οι τάσεις ακτινοβολίας (wave radiation stresses)

Τα βασικά στοιχεία που εξάγει το μοντέλο MIKE 21 Flow Model FM Hydrodynamic Module είναι το βάθος του νερού, η στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας, οι πυκνότητες της ροής κατά x (P flux) και y (Q flux) καθώς και οι ταχύτητες που αναπτύσσονται κατά x (U) και y (V). Αυτά τα στοιχεία εξάγονται για κάθε στοιχείο του κανάβου (mesh) και για κάθε χρονικό βήμα της προσομοίωσης στους δυναμικούς χάρτες εξαγωγής.

3.4.2 Βασικές εξισώσεις του μοντέλου

Το μοντέλο βασίζεται στην επίλυση της δισδιάστατης κατά Reynolds εξίσωσης ασυμπιεστής ροής Navier-Stokes, που ακολουθούν τις παραδοχές Boussinesq και της υδροστατικής πίεσης.

Η εξίσωση της συνέχειας περιγράφεται ως εξής:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S$$

και οι δύο εξισώσεις διατήρησης της ορμής κατά την οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση είναι οι παρακάτω:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} \\ = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) + F_u \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left(V_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial wv}{\partial z} \\ = -fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) + F_v \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left(V_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S \end{aligned}$$

Όπου:

- t: ο χρόνος
- x,y,z: οι καρτεσιανές συντεταγμένες
- η: η ανύψωση της στάθμης της επιφάνειας

- d: το βάθος του νερού
- h=η+d : το συνολικό βάθος του νερού
- u,v,w: οι συνιστώσες της ταχύτητας στις κατευθύνσεις x,y και z αντίστοιχα
- f=2Ωsinφ: η παράμετρος Coriolis
- g: η επιτάχυνση της βαρύτητας
- ρ: η πυκνότητα του νερού
- S_{xx}, S_{xy}, S_{yy}: οι συνιστώσες του τανυστή των τάσεων της ακτινοβολίας
- V_t: η κατακόρυφη τυρβώδης ορμή
- p_a: η ατμοσφαιρική πίεση
- ρ_o: η πυκνότητα αναφοράς του νερού
- S: το μέγεθος φόρτισης λόγω σημειακών πηγών
- u_s,v_s: η ταχύτητα με την οποία το νερό διαχέεται στο περιβάλλον νερό

Οι όροι των οριζόντιων τάσεων περιγράφονται με μία σχέση που συνδέει τα μεγέθη κλίση-τάση, όπου η απλοποιημένη μορφή της είναι η εξής:

$$F_u = \frac{\partial}{\partial x} \left(2A \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right)$$

$$F_v = \frac{\partial}{\partial x} \left(A \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(2A \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$

όπου A το οριζόντιο τυρβώδες ιξώδες.

Οι συνοριακές συνθήκες για την ελεύθερη επιφάνεια και τον πυθμένα για τις u,v και w είναι:

Στο z=η:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y} - w = 0, \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho_o V_t} (\tau_{sx}, \tau_{sy})$$

Στο z=-d:

$$u \frac{\partial d}{\partial x} + v \frac{\partial d}{\partial y} + w = 0, \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho_o V_t} (\tau_{bx}, \tau_{by})$$

όπου (τ_{sx},τ_{sy}) και (τ_{bx},τ_{by}) είναι οι συνιστώσες των τάσεων του ανέμου στην επιφάνεια και του πυθμένα κατά x και y.

Η μεταφορά της θερμότητας T και της αλατότητας s ακολουθεί τις γενικές εξισώσεις μεταφοράς-διάχυσης:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} = F_T + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \hat{H} + T_s S$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial us}{\partial x} + \frac{\partial vs}{\partial y} + \frac{\partial ws}{\partial z} = F_s + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_v \frac{\partial s}{\partial z} \right) + s_s S$$

Όπου D_v είναι ο συντελεστής τυρβώδους διάχυσης, \hat{H} είναι ο όρος πηγής λόγω ανταλλαγής θερμότητας με την ατμόσφαιρα. T_s και s_s είναι η θερμοκρασία και η αλατότητα της πηγής.

Οι συντελεστές οριζόντιας διάχυσης περιγράφονται από τον παρακάτω τύπο:

$$(F_T, F_s) = \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_h \frac{\partial}{\partial y} \right) \right] (T, s)$$

Όπου D_h είναι ο συντελεστής οριζόντιας διάχυσης.

3.4.3 Εφαρμογή και καθορισμός παραμέτρων εισόδου στο MIKE 21 Flow Model FM – Hydrodynamic module

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, σκοπός είναι ο υπολογισμός της στερεομεταφοράς στο λιμένα της Μεθώνης. Για να επιτευχθεί η προσομοίωση της μεταβολής του νερού καθώς και της ροής χρησιμοποιήθηκε το MIKE 21 Flow Model FM – Hydrodynamic module. Το μοντέλο αυτό παρουσιάζει ένα δενδροδιάγραμμα με τις παραμέτρους που πρέπει να εισαχθούν ή να ρυθμιστούν. Σε αυτή την υποενότητα θα παρουσιαστούν αυτές οι παράμετροι καθώς και θα επεξηγηθεί η ρύθμισή τους για την περιοχή της μελέτης που μας ενδιαφέρει.

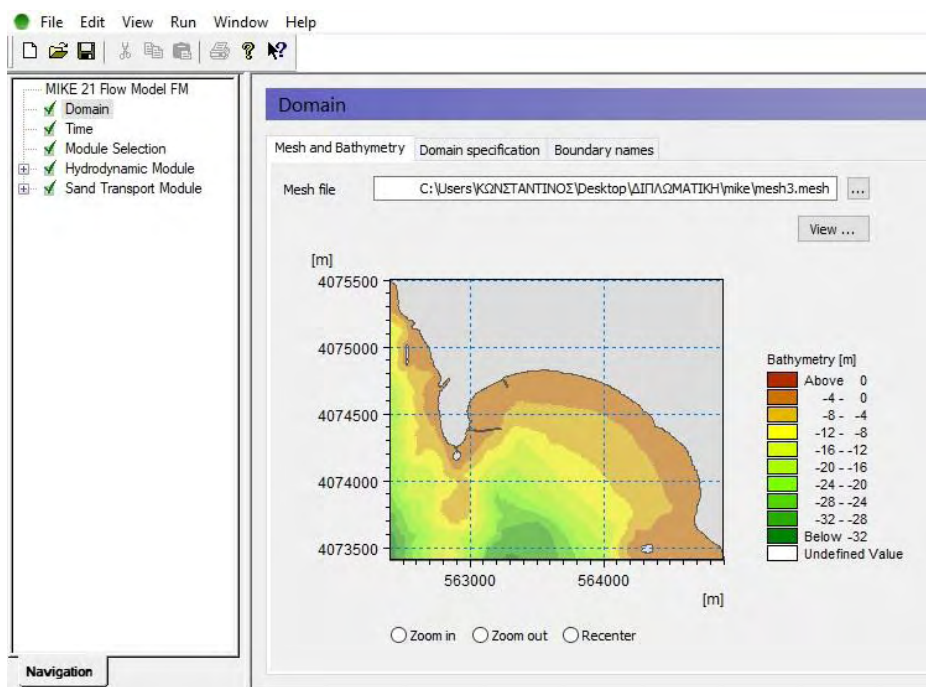


Εικόνα 21 Δενδροδιάγραμμα του προγράμματος MIKE 21 Flow Model FM - Hydrodynamic

3.4.3.1 Γενικές ρυθμίσεις

- Πεδίο εφαρμογής (Domain)

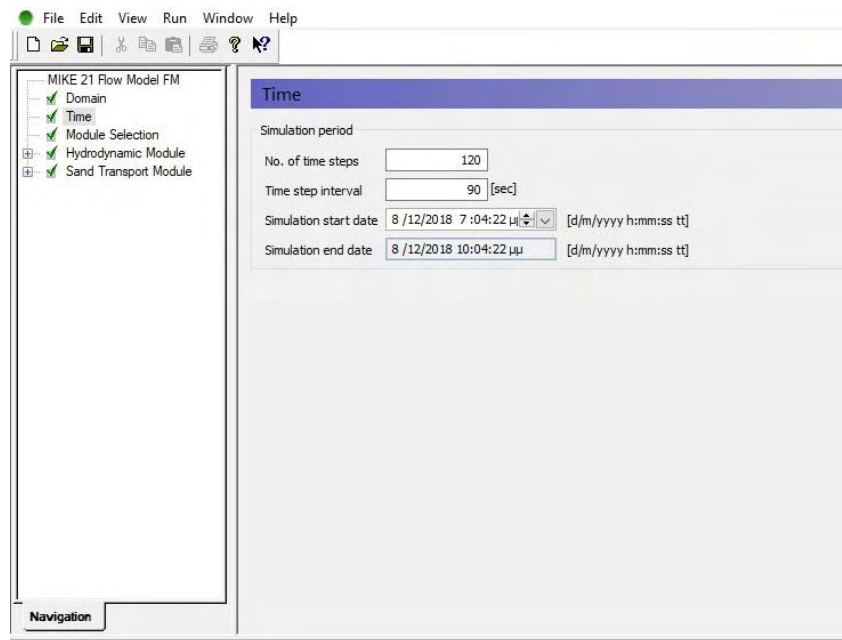
Σε αυτή την παράμετρο, όπως έχει εξεξηγηθεί και προηγουμένως, εισάγεται από τον χρήστη ο κάναβος που σχεδιάστηκε από το εργαλείο Mesh Generator.



Εικόνα 22 Καρτέλα Domain του προγράμματος MIKE 21 Flow Model FM - Hydrodynamic

- Χρονικό διάστημα (Time)

Εδώ ορίζεται το χρονικό διάστημα του φαινομένου, αλλά κυρίως η χρονική διάρκεια. Επιπλέον, ορίζεται ο αριθμός των time step καθώς και η διάρκεια τους. Όπως και στο προηγούμενο στάδιο (MIKE 21 SW) ορίσαμε χρονική διάρκεια τριών ωρών), 90 time step και διάρκεια αυτών 120 δευτερόλεπτα (το πρόγραμμα δηλαδή εξάγει μετρήσεις κάθε 120 δευτερολέπτα).

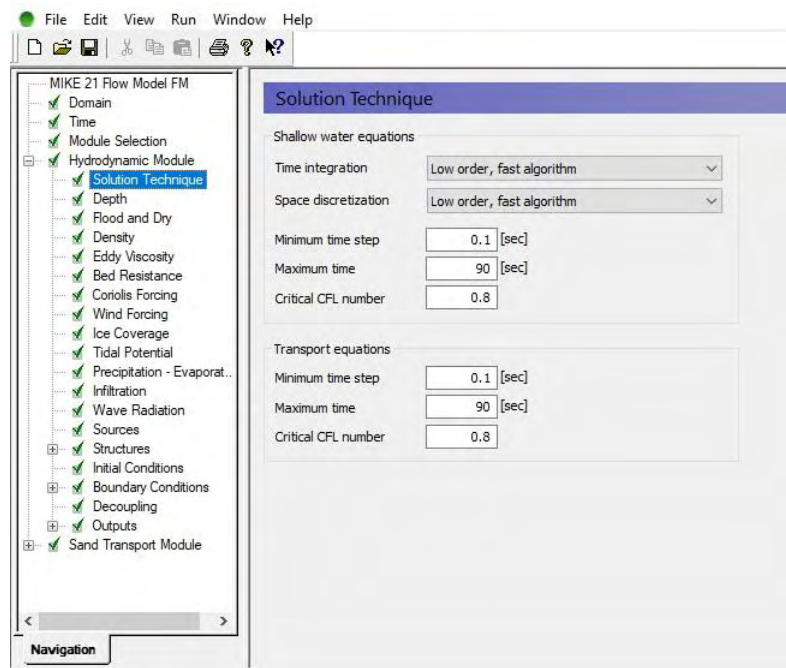


Εικόνα 23 Καρτέλα Time του προγράμματος MIKE 21 Flow Model FM – Hydrodynamic

3.4.3.2 Παράμετροι για το Flow Model FM – Hydrodynamic Module

- Τεχνική Επίλυσης (Solution Technique)

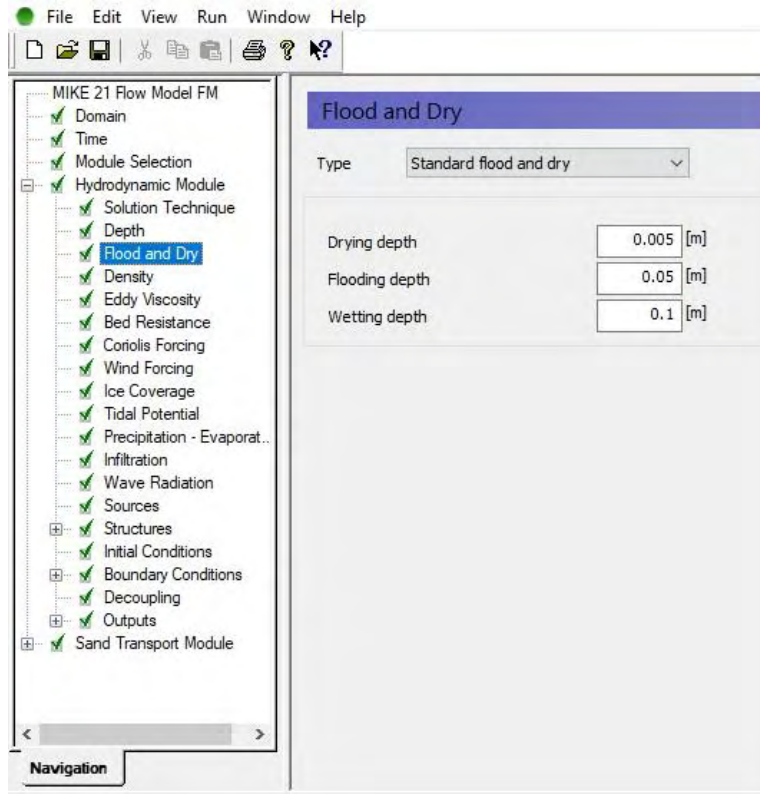
Ο χρόνος και η ακρίβεια που θα λάβει η προσομοίωση μπορούν να προσαρμοστούν προσδιορίζοντας την τάξη που θα επιλυθεί το αριθμητικό μοντέλο. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει είτε χαμηλής (πρώτης) τάξης επίλυση είτε υψηλότερης. Ο μικρότερης τάξης αλγόριθμος είναι λιγότερο ακριβής, αλλά είναι γρηγορότερος υπολογιστικά.



Εικόνα 24 Καρτέλα Solution Technique του μοντέλου MIKE 21 Flow Model FM- Hydrodynamic

- Πλημμύρα (Flood and Dry)

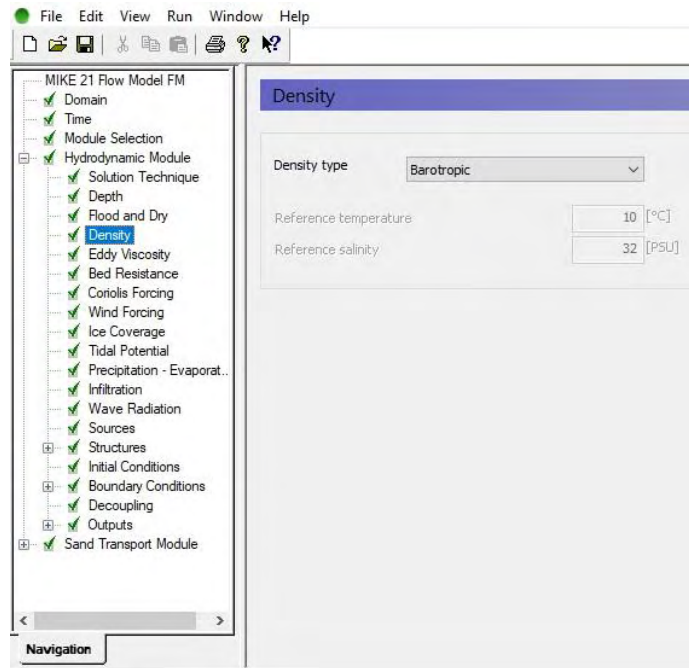
Στην υποενότητα που λαμβάνει υπόψιν την πλημμύρα θεωρήσαμε κανονικές συνθήκες με τις πρότυπες τιμές του προγράμματος για τα βάθη που επηρεάζονται από πλημμυρικά φαινόμενα.



Εικόνα 25 Καρτέλα Flood and Dry του μοντέλου MIKE 21 Flow Model FM-Hydrodynamic

- Βαρύτητα (Density)

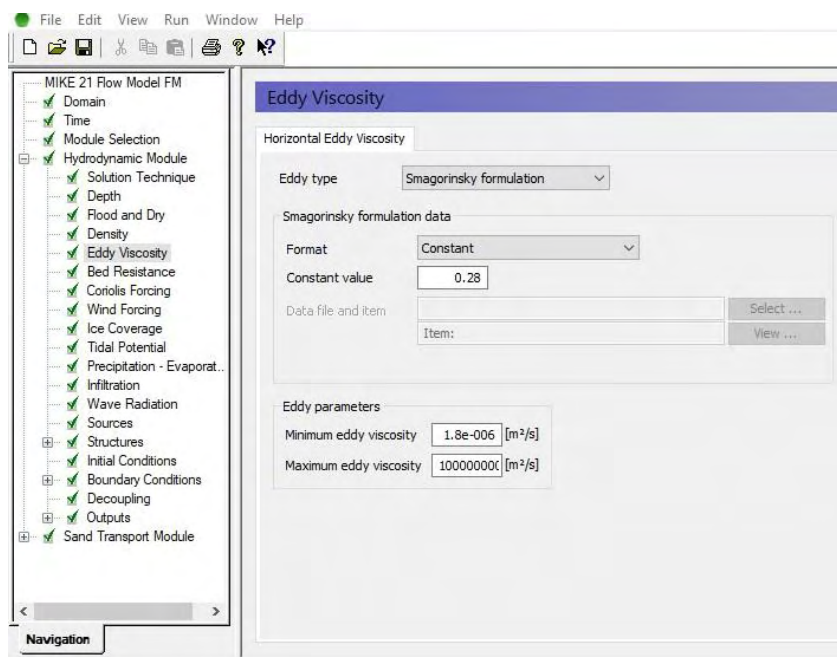
Η βαρύτητα εκφράζεται στο μοντέλο ως συνάρτηση της αλατότητας και της θερμοκρασίας. Στην παρούσα διπλωματική θεωρήσαμε βαροτροπικές συνθήκες για τις οποίες η αλατότητα και η θερμοκρασία είναι σταθερές και δεν μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης



Εικόνα 26 Καρτέλα Density του μοντέλου MIKE 21 Flow Model FM – Hydrodynamic

- Τυρβώδης Συνεκτικότητα (Eddy viscosity)

Η αποδόμηση των προγνωστικών μεταβλητών σε μία μέση ποσότητα και μία τυρβώδη διακύμανση οδηγεί σε επιπλέον όρους τάσης στις εξισώσεις που επιλύει το μοντέλο στο χρονικό και χωρικό πεδίο. Στην παρούσα διπλωματική εργασία για την τυρβώδη συνεκτικότητα ορίσαμε τη μέθοδο Smagorinsky με τις σταθερές τιμές που έχει ως δεδομένες το πρόγραμμα.



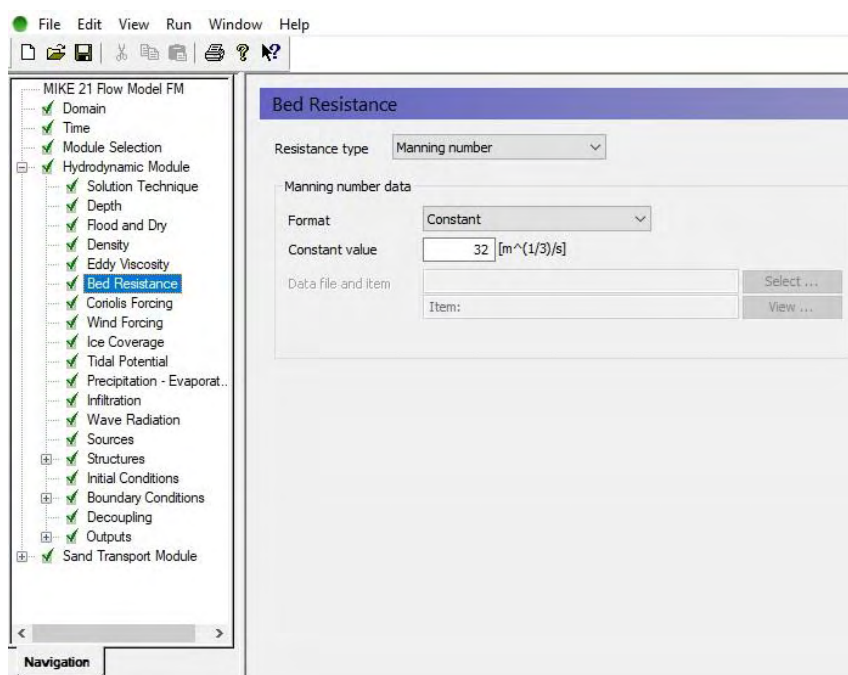
Εικόνα 27 Καρτέλα Eddy Viscosity του μοντέλου Flow Model FM – Hydrodynamic

- Αντίσταση πυθμένα (Bed resistance)

Η αντίσταση του πυθμένα μπορεί να οριστεί με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους:

- Καθόλου αντίσταση
- Με τον αριθμό Chezy
- Με τον αριθμό Manning
- Αντίσταση προκαλούμενη από τον κυματισμό

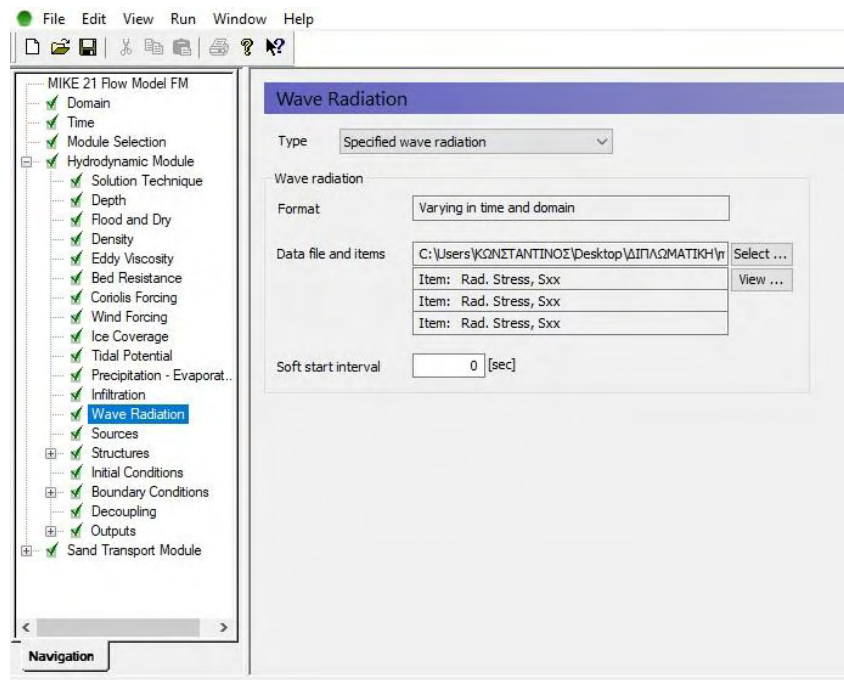
Εδώ θεωρήσαμε ως τύπο περιγραφής το συντελεστή Manning διατηρώντας σταθερή τη τιμή του ($M=32 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$).



Εικόνα 28 Καρτέλα Bed Resistance του μοντέλου Flow Model FM – Hydrodynamic

- Ακτινοβολία κυματισμών (Wave radiation)

Η δευτέρα τάξεως τάσεις που οφείλονται στη θραύση των κυματισμών μικρής περιόδου μπορούν να εισαχθούν στην προσομοίωση. Αυτές οι τάσεις ακτινοβολίας λειτουργούν ως κατευθυντικές δυνάμεις στη μέση ροή και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό ροής λόγω κυματισμού. Στην καρτέλα με την ακτινοβολία των κυματισμών εισάγεται το αρχείο των τάσεων ακτινοβολίας που υπολογίστηκαν μέσω του προηγούμενου μοντέλου Spectral Waves FM.



Εικόνα 29 Καρτέλα Wave Radiation του μοντέλου Flow Model FM – Hydrodynamic

- Αρχικές συνθήκες (Initial conditions)

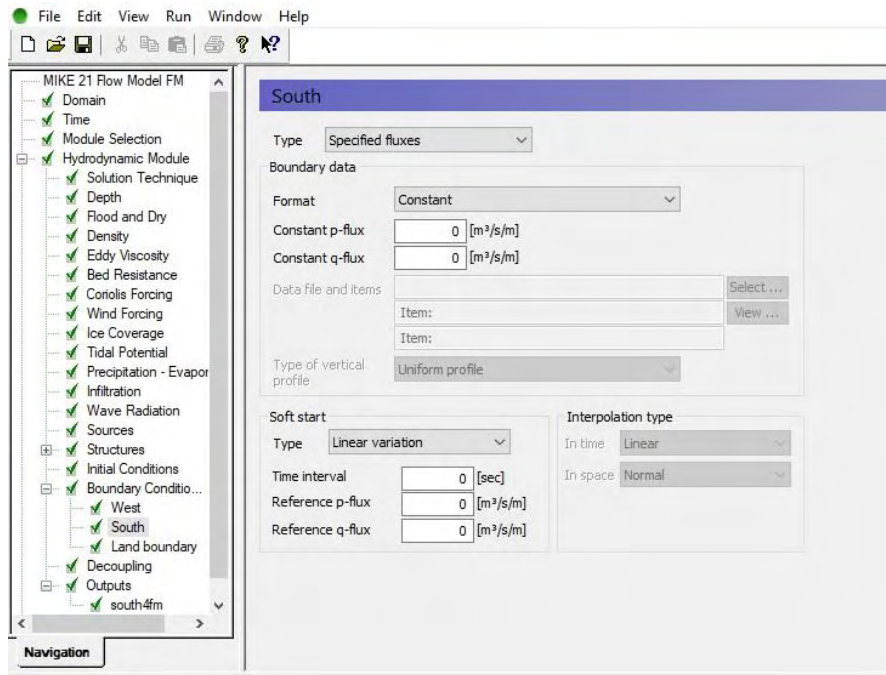
Οι αρχικές συνθήκες στην παρούσα εργασία λήφθηκαν μηδενικές, δηλαδή δεν ορίστηκαν ήδη υπάρχουσες ταχύτητες και ανύψωση της στάθμης.

- Συνοριακές συνθήκες (Boundary conditions)

Σε αυτό το σημείο θεωρήσαμε για όλο το μήκος του δυτικού και νότιου μέρους του πλέγματος ότι αναφερόμαστε σε βαθιά νερά. Αυτή η υπόθεση δε μας δίνει ακριβή αποτελέσματα σε σημεία όπου έχουμε στερεά εμπόδια κοντά σε αυτά αλλά δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα στο λιμένα καθώς οι κυματισμοί έχουν αναπτυχθεί επαρκώς εκεί. Για αυτό το λόγο σε αυτή την καρτέλα οι τύποι συνοριακών συνθηκών που μπορούσαν να ληφθούν για τη συγκεκριμένη εφαρμογή είναι τρεις:

- Καθορισμένη ροή
- Καθορισμένες ταχύτητες
- Καθορισμένη στάθμη

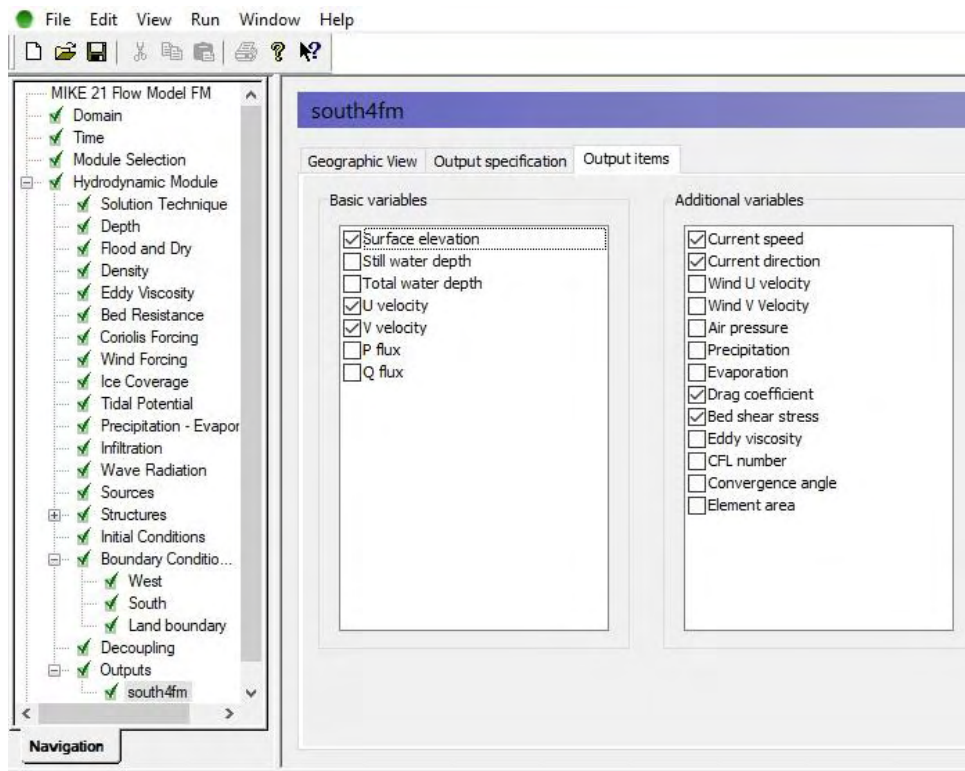
Έπειτα από δοκιμή και των τριών τύπων με μηδενικές τιμές εφόσον υποθέτουμε βαθιά νερά, επιλέχθηκε ο τύπος καθορισμένη ροή αφού έδωσε τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα στην περίπτωση μας.



Εικόνα 30 Καρτέλα Boundary Conditions του μοντέλου MIKE 21 Flow Model FM - Hydrodynamic

- Στοιχεία εξόδου του προγράμματος (Outputs)

Τα στοιχεία που εξάχθηκαν παρατίθενται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 31 Καρτέλα Outputs του μοντέλου Flow Model FM - Hydrodynamic

3.5 Περιγραφή της υπορουτίνας MIKE 21 Flow Model FM – Sand Transport Module

3.5.1 Γενική εισαγωγή στο μοντέλο

Το MIKE 21 FM Sand Transport (ST) είναι ένα αριθμητικό μοντέλο το οποίο αποτελεί επέκταση του υδροδυναμικού μοντέλου που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα. Το μοντέλο αυτό υπολογίζει το ρυθμό στερεομεταφοράς μη συνεκτικών ιζημάτων (π.χ. άμμος) και τους σχετικούς ρυθμούς μεταβολής της στάθμης του πυθμένα σε δράση ρεύματος ή αμιγούς δράσης ρεύματος και κύματος. Οι υπολογισμοί των ρυθμών αυτών πραγματοποιείται σε συνθήκες ροής που αναπτύσσονται από τους υπολογισμούς του υδροδυναμικού μοντέλου και τον κυματικών συνθηκών, εάν εμπεριέχονται, από τους υπολογισμούς των κυματικών συνθηκών.

Το Sand Transport module στο MIKE 21 επιτρέπει την προσομοίωση διάφορων εφαρμογών. Κυριότερες από αυτές είναι:

- Ρυθμός μεταφοράς ιζημάτων
- Διαχείριση παράκτιας ζώνης
- Βελτιστοποίηση διαμόρφωσης λιμένων
- Προστασία της ακτογραμμής
- Απόθεση ιζήματος σε βυθοκορήσεις και εισόδους λιμένων
- Διάβρωση πάνω από βυθισμένα κανάλια
- Μορφολογία ποταμών

Το μοντέλο αυτό εξάγει δύο είδη αποτελεσμάτων: το ρυθμό στερεομεταφοράς και τις μορφολογικές εξελίξεις του πυθμένα. Τα στοιχεία αυτά προκύπτουν για κάθε χρονικό βήμα κάθε στοιχείου του χωρικού πλέγματος (mesh) που έχει δημιουργηθεί. Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα εξαχθούν τα εξής στοιχεία:

- Φορτίο πυθμένα
- Φορτίο αιωρούμενου ιζήματος
- Συγκέντρωση αιωρούμενου ιζήματος
- Ρυθμός μεταβολής της στάθμης του πυθμένα
- Στιγμαία στάθμη πυθμένα

3.5.2 Βασικές εξισώσεις του μοντέλου

Στο MIKE 21 ST υπάρχουν διαθέσιμα πέντε διαφορετικές θεωρίες υπολογισμού της στερεομεταφοράς,

- Μοντέλο κατά Engelund and Hansen

Το μοντέλο από τους Engelund and Hansen (1967) είναι ένα μοντέλο που υπολογίζει το ολικό φορτίο μεταφοράς. Χρειάζεται να δοθούν από το χρήστη συγκεκριμένες

πληροφορίες προκειμένου να διαχωρίσει τη στερεομεταφορά του πυθμένα από αυτή της αιώρησης. Οι ρυθμοί στερεομεταφοράς προέρχονται από τις σχέσεις:

$$S_{bl} = k_b \cdot S_{tl}$$

$$S_{sl} = k_s \cdot S_{tl}$$

Όπου το ολικό φορτίο στερεομεταφοράς προέρχεται από τη σχέση:

$$S_{tl} = 0.05 \frac{c^2}{g} \theta^{\frac{5}{2}} \sqrt{(s-1)g d_{50}^3}$$

Η συγκέντρωση ισορροπίας ορίζεται απλά ως ο λόγος μεταξύ του φορτίου αιώρησης με τη ροή του νερού και μετατρέπεται από ογκομετρική συγκέντρωση σε συγκέντρωση μάζας από τη σχέση:

$$c_e = \frac{S_{sl}}{V \cdot h} \cdot s \cdot 10^6$$

ο Μοντέλο κατά Van-Rijn

Ο Van-Rijn (1984) πρότεινε τις ακόλουθες σχέσεις για τον υπολογισμό της στερεομεταφοράς στον πυθμένα και του αιωρούμενου φορτίου:

$$S_{bl} = 0.053 \frac{T^{2.1}}{D_*^{0.3}} \sqrt{(s-1)g \cdot d_{50}^3}$$

Όπου T είναι η αδιάστατη παράμετρος του βαθμού στερεομεταφοράς και δίνεται από τον τύπο:

$$T = \left(\frac{u_{f,r}}{u_{f,c}} \right)^2 - 1$$

Όπου $u_{f,c}$ η κρίσιμη διατμητική ταχύτητα του πυθμένα και u_f η διατμητική ταχύτητα πυθμένα.

Η αδιάστατη παράμετρος του φορτίου του πυθμένα κατά Van Rijn περιγράφεται από τη σχέση:

$$D_* = d_{50} \left(\frac{(s-1)g}{v^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Όπου v είναι το κινηματικό ιξώδες

Η στερεομεταφορά αιωρούμενων σωματιδίων προκύπτει μόνο όταν ένα από τα παρακάτω κριτήρια ικανοποιείται:

$$u_f > \frac{4w_s}{D_*} \text{ για } D_* < 10$$

$$u_f > 0.4w_s \text{ για } D_* > 10$$

Το επίπεδο αναφοράς στο οποίο ορίζεται η συγκέντρωση του πυθμένα εκφράζεται ως:

$$a = \max \left(\frac{0.01 h}{2d_{50}} \right)$$

Η ογκομετρική συγκέντρωση του πυθμένα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$c_a = 0.015 \cdot \frac{d_{50} T^{1.5}}{a D_*^{0.3}}$$

Ένας διορθωτικός συντελεστής β εφαρμόζεται στον υδροδυναμικό συντελεστή διάχυσης προκειμένου να τον μετατρέψει σε συντελεστή διάχυσης για το αιωρούμενο φορτίο:

$$\beta = 1 + 2 \left(\frac{w_s}{u_f} \right)^2$$

Ο Van Rijn όρισε ένα παράγοντα διόρθωσης φ για το προφίλ συγκέντρωσης, το οποίο ορίζεται ως:

$$\varphi = \frac{5}{2} \left(\frac{w_s}{u_f} \right)^{0.8} \left(\frac{c_a}{c_0} \right)^{0.4}$$

c_0 : η μέγιστη συγκέντρωση ιζήματος (ίση με 0.65).

Όταν εφαρμοστούν οι διορθωτικοί συντελεστές που προαναφέρθηκαν, προκύπτει μία παράμετρος αιώρησης Z :

$$Z = \frac{w_s}{\beta k u_f} + \varphi$$

Τελικώς, το φορτίο αιωρούμενου ιζήματος που είναι εξαρτώμενο από το βάθος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$S_{sl} = f \cdot c_a \cdot V \cdot h$$

Όπου ο διορθωτικός συντελεστής για το αιωρούμενο ίζημα περιγράφεται από τον τύπο:

$$f = \frac{\left(\frac{a}{h} \right)^Z - \left(\frac{a}{h} \right)^{1.2}}{\left(1 - \frac{a}{h} \right)^Z (1.2 - Z)}$$

ο Μοντέλο κατά Engelund and Fredsøe

Το μοντέλο κατά Engelund and Fredsøe χρησιμοποιεί επίσης τη θεωρία ολικού φορτίου μεταφοράς. Ο ρυθμός μεταφοράς του συνολικού φορτίου (q_t) σε αυτό το μοντέλο είναι ίσος με το άθροισμα του φορτίου στον πυθμένα (q_b) και του αιωρούμενου φορτίου (q_s), δηλαδή $q_t = q_b + q_s$. Επιπλέον γίνεται η θεώρηση ότι η στερεομεταφορά στον πυθμένα πραγματοποιείται σε στρώμα πάχους ίσο με τη διάμετρο των κόκκων του ιζήματος και η στερεοπαροχή υπολογίζεται από τη σχέση:

$$q_b = 5p(\sqrt{\theta'} - 0.07\sqrt{\theta_c})\sqrt{(s-1)gD}$$

Όπου p είναι η πιθανότητα να είναι όλοι οι κόκκοι κάποιου στρώματος σε κίνηση, θ' είναι η αδιάστατη διατμητική τάση στον πυθμένα (παράμετρος Shields) σε σχέση με την τριβή της διεπιφάνειας ρευστού στερεού (skin friction) και θ_c η κρίσιμη διατμητική τάση στον πυθμένα κατά την έναρξη της κίνησης.

Η αδιάστατη διατμητική τάση στον πυθμένα σε σχέση με την τριβή της διεπιφάνειας ρευστού στερεού θ' δίνεται από τη σχέση:

$$\theta' = \frac{U'_f{}^2}{(s-1)gD}$$

Όπου U'_f είναι η διατμητική ταχύτητα που σχετίζεται με την τριβή της διεπιφάνειας ρευστού-στερεού.

Ενώ η πιθανότητα p περιγράφεται από τη σχέση:

$$p = \left[1 + \left(\frac{\pi\beta_f}{\theta' - \theta_c} \right)^4 \right]^{-0.25}$$

Όπου β_f είναι ο δυναμικός συντελεστής τριβής.

Το φορτίο αιώρησης q_s υπολογίζεται από τον τύπο:

$$q_s = 11,6U'_f{}^2 c_b a \left[I_1 \ln \left(\frac{30d}{k_N} \right) + I_2 \right]$$

Όπου c_b η συγκέντρωση αιωρούμενου ιζήματος στον πυθμένα, $a=2d$ το επίπεδο αναφοράς για το c_b , I_1 και I_2 τα ολοκληρώματα του Einstein, d το βάθος του νερού και $k_N=2,5D$ η ισοδύναμη τραχύτητα Nikuradse. Τα I_1 και I_2 αποτελούν συνάρτηση του αδιάστατου επιπέδου αναφοράς $A=r/d$ και του αριθμού Rouse $z^*=W_f/\kappa U_{f,wc}$, όπου το W_f η ταχύτητα καθίζησης του αιωρούμενου ιζήματος, $\kappa=0.4$ η σταθερά του Von Karman και $U_{f,wc}$ η διατμητική ταχύτητα υπό τη δράση ρεύματος και κύματος με όρια στο διάστημα (a,d) όπου το y μετράται πάνω από το επίπεδο του πυθμένα.

Στο επίπεδο $a=2d$ (επίπεδο αναφοράς) η συγκέντρωση c_b υπολογίζεται από τον τύπο:

$$c_b = \frac{0.65}{\left(1 + \frac{1}{\lambda}\right)^3}$$

Η παράμετρος λ δίνεται από τη σχέση:

$$\lambda = \sqrt{\frac{\theta' - \theta_c - \frac{\pi p \beta}{6}}{0.027 s \theta'}}, \text{ για } \theta' > \theta_c + \frac{\pi p \beta}{6}$$

Η θεωρία των Engelund and Fredsøe αναπτύχθηκε από αποτελέσματα πειραμάτων που εφαρμόστηκαν σε αμμώδες υλικό πυθμένα, έτσι η θεωρία αυτή ισχύει για υλικά που έχουν διάμετρο παρόμοια με εκείνη της άμμου.

ο Μοντέλο Meyer-Peter and Müller

Η θεωρία κατά Meyer-Peter and Müller (1948) συσχετίζει τον αδιάστατο ρυθμό στερεομεταφοράς στον πυθμένα Φ με την αδιάστατη διατμητική τάση στον πυθμένα. Ο αδιάστατος ρυθμός στερεομεταφοράς υπολογίζεται από τη σχέση:

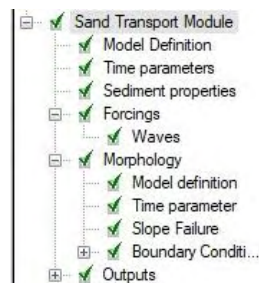
$$\Phi_b = 8(\theta' - \theta_c)^{1.5}$$

$$\Phi_b = \frac{q_b}{\sqrt{(s-1)gD^3}}$$

Στη θεωρία αυτή λαμβάνεται υπόψιν μόνο η συνεισφορά του φορτίου στον πυθμένα (όχι του αιωρούμενου), έτσι πρέπει κανείς να αναλογιστεί ότι στην περίπτωση λεπτόκοκου ιζήματος και μεγάλης ταχύτητας ρεύματος ο ρυθμός της στερεομεταφοράς θα είναι αρκετά μικρότερος από τον πραγματικό.

3.5.3 Εφαρμογή και καθορισμός παραμέτρων εισόδου στο MIKE 21 Flow Model FM – Sand Transport module

Το Sand Transport module εμφανίζει ένα δενδροδιάγραμμα με παραμέτρους που ο χρήστης καθορίζει.



Εικόνα 32 Δενδροδιάγραμμα του μοντέλου MIKE 21 Flow Model FM – Sand Transport module

3.5.3.1 Παράμετροι για το Flow Model FM – Sand Transport Module

- Καθορισμός μοντέλου (Model definition)

Σε αυτό το σημείο ο χρήστης καθορίζει αν το μοντέλο θα υπολογίσει τη στερεομεταφορά για αποκλειστική ύπαρξη ρεύματος (pure current) ή αμιγούς δράσης κυματισμού και ρεύματος. Για την παρούσα εργασία επιλέχθηκε η ταυτόχρονη δράση κυματισμού και ρεύματος στη μεταφορά φερτών υλικών. Προκειμένου να δώσουμε στο πρόγραμμα τη δυνατότητα υπολογισμού αυτής της δράσης απαιτείται η εισαγωγή από το χρήστη ενός πίνακα στερεομεταφοράς που παράγεται από το εργαλείο MIKE 21 Toolbox.

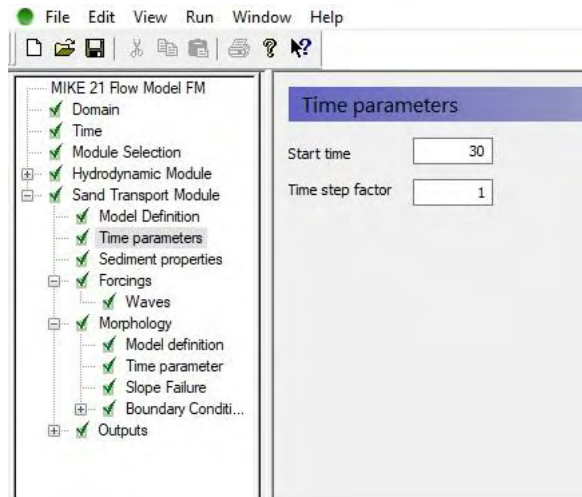
Αυτός ο πίνακας κατασκευάζεται με χρήση του εργαλείου Generation of Q3D Sediment Tables της καρτέλας Sediments του MIKE 21 Toolbox. Σε πρώτο στάδιο καθορίζουμε στο εργαλείο τις βασικές παραμέτρους, οι οποίες είναι η σχετική πυκνότητα $s=\rho_s/\rho=2.65$ (ρ_s : η πυκνότητα του ιζήματος και ρ : η πυκνότητα του νερού), η θερμοκρασία του νερού $\theta=23^\circ$, η ακρίβεια των υπολογισμών όσον αφορά την ακρίβεια της τιμής των συγκεντρώσεων ιζημάτων (0.0001), ο μέγιστος αριθμός βημάτων ανά περίοδο κύματος (130) και η κρίσιμη τιμή της παραμέτρου Shields $\theta_c=0.045$, που εκφράζει μια αδιάστατη τιμή της διατμητικής τάσης στον πυθμένα που καθορίζει την έναρξη κίνησης ενός κόκκου του ιζήματος αναφοράς.

Επίσης, επιλέγεται να ληφθούν υπόψιν οι πτυχώσεις που δημιουργούνται από τα κύματα (wave generated ripples), φαινόμενα ρευμάτων καθώς και το ντετερμινιστικό μοντέλο (Engelund & Fredsøe, 1976) για την περιγραφή της συγκέντρωσης ιζήματος στον πυθμένα. Σε επόμενο βήμα, επιλέγεται η κυματική θεωρία του Stokes 5ης τάξης και όσον αφορά τη θραύση, επιλέγονται οι παράμετροι θραύσεως $\gamma_1 = 1$ και $\gamma_2 = 0,8$ (όπως είναι και προεπιλεγμένα από το εργαλείο).

Τέλος, κατασκευάζεται ο πίνακας στερεομεταφοράς εισάγοντας τις αρχικές τιμές, το βήμα και το πλήθος των τιμών αντίστοιχα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του πίνακα για την ταχύτητα του ρεύματος V , το ύψος κύματος H , την περίοδο T , το λόγο του ύψους κύματος προς το βάθος νερού H_{rms}/d , το μέγεθος κόκκου D_{50} , τη διαβάθμιση του εδαφικού υλικού σ.γ. Κάθε νέα τιμή i_n υπολογίζεται σε σχέση με την προηγούμενη i_{n-1} ως $i_n = i_{n-1} + \beta_{\eta\mu\alpha}$. Γενική αρχή είναι ότι πρέπει τα μεγέθη του πίνακα να είναι σε κάθε βήμα υπολογισμού του μοντέλου στερεομεταφοράς μεγαλύτερα από τα δεδομένα της μελέτης.

- Χρονικές παράμετροι (Time parameters)

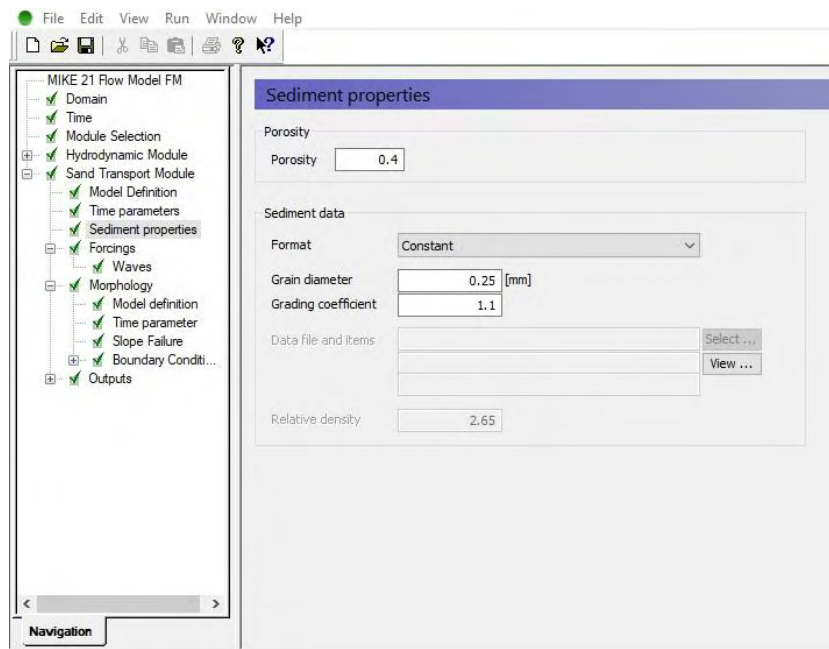
Εδώ ορίζεται από το χρήστη το χρονικό βήμα έναρξης υπολογισμού της στερεομεταφοράς και το χρονικό βήμα υπολογισμού αυτής. Εδώ ορίστηκε ως χρόνος έναρξης το 30^ο χρονικό βήμα (1 ώρα μετά τη δράση ανέμου), προκειμένου να έχουμε πλήρη ανάπτυξη των κυματισμών και χρονικό βήμα το ένα.



Εικόνα 33 Καρτέλα Time parameters του μοντέλου MIKE 21 Flow Model FM – Sand Transport

- Ιδιότητες Ιζήματος (Sediment properties)

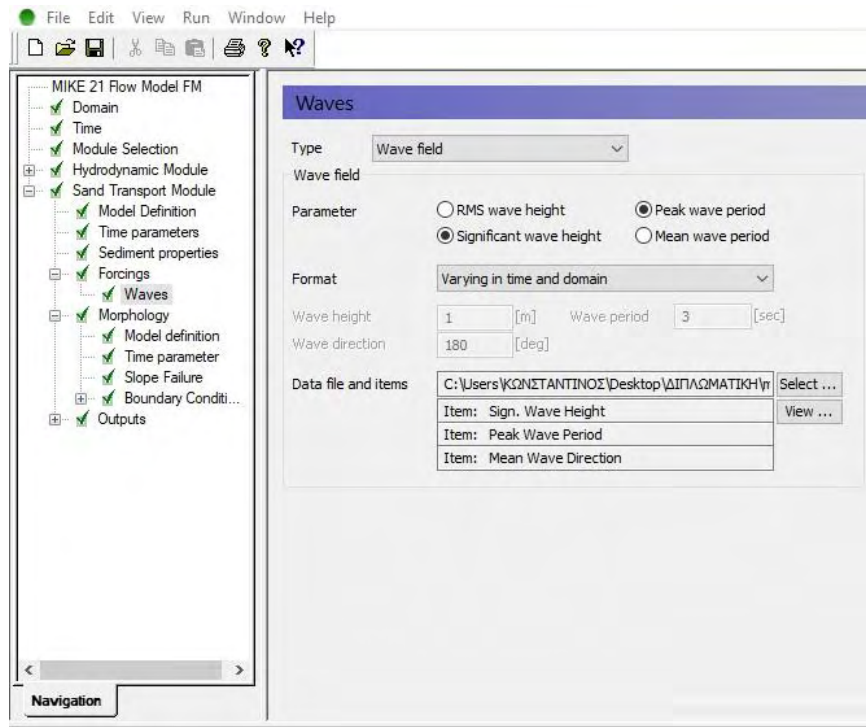
Στο σημείο αυτό εισάγονται τα δεδομένα για το ίζημα της περιοχής μελέτης, όπως το πορώδες με την τιμή 0,4, η διάμετρος ιζήματος που είναι 0,25mm και ο συντελεστής διαβάθμισης ο οποίος είναι ίσος με 1,1. Η διάμετρος του ιζήματος λήφθηκε από μελέτη που έχει γίνει στο λιμένα της Μεθώνης (πηγή: http://www.mgfrangou.gr/gr/ergo.php?ergo_Id=54).



Εικόνα 34 Καρτέλα Sediment properties του μοντέλου MIKE 21 Flow Model FM – Sand Transport

- Δράσεις (Forcings)

Στη καρτέλα αυτή εισάγονται τα κυματικά δεδομένα στο μοντέλο που υπολογίστηκαν σε προηγούμενο βήμα στο μοντέλο Spectral Waves. Ορίζονται ως παράμετροι το σημαντικό ύψος κύματος και η περίοδος αιχμής.

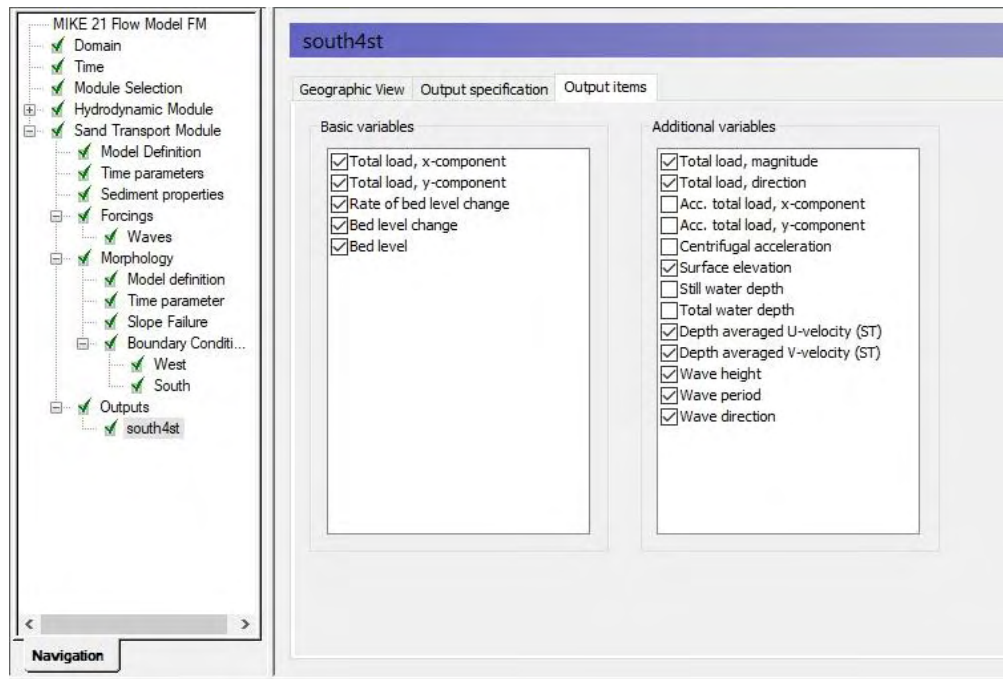


Εικόνα 35 Καρτέλα Forcings του μοντέλου MIKE 21 Flow Model FM – Sand Transport

- Μορφολογία (Morphology) :
 - Καθορισμός μοντέλου:
Σε αυτό το σημείο ορίζεται η μέγιστη μεταβολή του πυθμένα (1 m/day) και ο παράγοντας επιτάχυνσης (ίσος με 1).
 - Χρονική παράμετρος:
Καθορίζεται η έναρξη της στερεομεταφοράς στο 30^ο χρονικό βήμα (1 ώρα μετά την κυματική δράση)
 - Συνοριακές συνθήκες:
Για τα θαλάσσια σύνορα της περιοχής ορίστηκε ο τύπος Zero sediment flux gradient for outflow, zero bed change for inflow, με τη υπόθεση και πάλι ύπαρξης βαθέων νερών σε όλη την έκταση των συνόρων.
- Στοιχεία εξόδου του μοντέλου (Outputs)

Τα στοιχεία που εξήχθησαν από το Sand Transport module αποτελούν και το τελικό ζητούμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Υπολογίστηκαν οι

παράμετροι που παρατίθενται στην παρακάτω εικόνα, με ιδιαίτερη σημασία στη συνολική στερεομεταφορά κατά x και y (total load x-component, total load y-component), το ρυθμό μεταβολής του πυθμένα (rate of bed level change) και την κατεύθυνση του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς (total load direction).



Εικόνα 36 Καρτέλα Outputs του μοντέλου MIKE 21 Flow Model FM – Sand Transport

4.ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι η Μεθώνη. Η Μεθώνη είναι κωμόπολη του νομού Μεσσηνίας και ανήκει διοικητικά στο Δήμο Πύλου-Νέστορος, απέχει 60 χιλιόμετρα από την πόλη της Καλαμάτας. Η οικονομία της περιοχής βασίζεται κυρίως στον τουρισμό, καθώς διαθέτει ένα από τα πιο ιστορικά οχυρωματικά σύνολα του ελληνικού χώρου, όπως το Μπούρτζι και το Κάστρο. Για αυτό το λόγο οι περισσότερες δραστηριότητες στη Μεθώνη στρέφονται γύρω από την περιοχή του λιμανιού.



Εικόνα 37 Μπούρτζι Μεθώνης (www.naftemporiki.gr)



Εικόνα 38 Κάστρο Μεθώνης (www.gtp.gr)

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει η περιοχή είναι η διάβρωση της ακτογραμμής. Η μεγάλη προσάμωση στη θάλασσα δημιουργεί συνθήκες που πλήττουν τον τουρισμό και περιθωριοποιούν την αξιοποίηση του ιστορικού πλούτου που προσφέρει ο λιμένας. Φαινόμενα κακοκαιρίας τα τελευταία χρόνια πλήττουν την περιοχή, με αποτέλεσμα σοβαρές υλικές ζημιές.



Εικόνα 39 Κακοκαιρία στη Μεθώνη 26/1/2019 (www.foninews.gr)



Εικόνα 40 Υλικές ζημιές από κακοκαιρία 26/1/2019



Εικόνα 41 Υλικές ζημιές από κακοκαιρία 26/1/2019



Εικόνα 42 Κυματοθραύστης Μεθώνης σε ακραίο καιρικό φαινόμενο
(www.messinia24.gr)



Εικόνα 43 Εξέλιξη ακτογραμμής Μεθώνης λόγω διάβρωσης (Google Earth)

4.1 Ιστορική Αναδρομή

Η καστροπολιτεία της Μεθώνης στο λιμένα της, οχυρωμένη από την αρχαιότητα, αποτελεί σημείο ορόσημο για την ιστορία της Πελοποννήσου. Η πρώτη οχύρωση του λιμένα πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του Πελοποννησιακού πολέμου (431 π.Χ.) και έκτοτε άλλαξε μορφή και επεκτάθηκε καθιστώντας τον έναν από τους πιο ιστορικούς λιμένες του ελληνικού χώρου. Μέχρι και σήμερα σώζεται μεγάλο τμήμα του κάστρου, θέτοντας καθοριστικής σημασίας την προστασία του μνημείου από το φαινόμενο της διάβρωσης και της προσάμμωσης.

4.2 Ανεμολογικά Δεδομένα Μεθώνης

Στην παρούσα εργασία λήφθηκαν υπόψιν πραγματικά ανεμολογικά δεδομένα τα οποία δόθηκαν από την ελληνική μετεωρολογική υπηρεσία ΕΜΥ καθώς και η συχνότητα εμφάνισης αυτών.

ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΑΝΕΜΟΥ

Όνομα Σταθμού	Κωδικός Σταθμού	Γεωγ.Πλάτος Σταθμού	Γεωγ.Μήκος Σταθμού	Ύψος Σταθμού (m)	Περίοδος						
ΜΕΘΩΝΗ	16734	36,8254	21,7045		1/1/2008 ΕΩΣ 31/12/2017						
Ιανουάριος											
Διεύθυνση Ανέμου	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CLM/VRB	SUM	
Beaufort	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	3,99	4,05

Beaufort 1	0,17	0,46	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	5,78	6,71
Beaufort 2	4,05	####	5,78	1,33	1,04	0,58	2,60	2,95	7,75	41,33
Beaufort 3	3,76	5,61	4,22	1,97	0,81	1,85	3,41	3,93	0,00	25,55
Beaufort 4	1,10	0,17	1,04	0,92	0,23	1,39	4,28	3,93	0,00	13,06
Beaufort 5	0,12	0,23	0,06	0,23	0,06	0,98	3,12	1,33	0,00	6,13
Beaufort 6	0,12	0,12	0,00	0,06	0,00	0,52	1,73	0,35	0,00	2,89
Beaufort 7	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,12	0,00	0,00	0,23
Beaufort 8	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
Beaufort >= 9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUM	9,36	####	11,33	4,5	2,20	5,38	15,26	12,54	17,51	100

1

Φεβρουάριος

Διεύθυνση Ανέμου	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CLM/VRB	SUM
Beaufort 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,92	2,92
Beaufort 1	0,12	0,06	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,95	7,26
Beaufort 2	2,48	####	5,77	1,61	0,87	1,05	2,48	2,30	6,64	36,10
Beaufort 3	2,85	5,09	6,95	1,86	0,81	1,12	6,02	3,29	0,00	27,98
Beaufort 4	1,99	0,87	2,48	1,12	0,43	0,93	5,27	4,34	0,00	17,43
Beaufort 5	0,43	0,06	0,12	0,31	0,06	0,50	2,11	1,61	0,00	5,21
Beaufort 6	0,06	0,00	0,00	0,00	0,06	0,06	1,24	0,74	0,00	2,17
Beaufort 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	0,37	0,00	0,68
Beaufort 8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,25
Beaufort >= 9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUM	7,94	####	15,45	4,9	2,23	3,66	17,68	12,66	16,50	100

0

Μάρτιος

Διεύθυνση Ανέμου	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CLM/VRB	SUM
Beaufort 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,29	3,29
Beaufort 1	0,45	0,78	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	7,31	8,71
Beaufort 2	3,91	####	5,47	1,45	1,17	1,28	2,96	3,18	9,60	40,31
Beaufort 3	2,01	1,90	5,19	2,23	0,95	0,95	5,97	4,97	0,00	24,18
Beaufort 4	0,84	0,22	2,07	0,89	0,17	0,39	5,53	6,59	0,00	16,69
Beaufort 5	0,28	0,00	0,17	0,06	0,00	0,34	1,73	1,28	0,00	3,85
Beaufort 6	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	1,28	1,06	0,00	2,51
Beaufort 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,17
Beaufort 8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,22
Beaufort >= 9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,06
SUM	7,54	####	13,01	4,6	2,29	3,07	17,48	17,59	20,21	100

3

Απρίλιος

Διεύθυνση Ανέμου	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CLM/VRB	SUM
Beaufort 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,24	3,24
Beaufort 1	0,40	1,14	0,23	0,06	0,00	0,06	0,06	0,00	8,35	10,28
Beaufort 2	1,93	9,77	4,83	1,76	0,80	1,31	4,15	3,69	7,72	35,95
Beaufort 3	1,19	2,16	5,45	1,87	0,45	1,31	7,16	4,83	0,00	24,42
Beaufort 4	0,28	0,74	3,01	1,19	0,11	0,34	6,87	6,53	0,00	19,08
Beaufort 5	0,06	0,06	0,11	0,11	0,00	0,00	2,44	2,56	0,00	5,34
Beaufort 6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	0,80	0,00	1,42
Beaufort 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,11	0,00	0,28
Beaufort 8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Beaufort >= 9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUM	3,86	####	13,63	5,00	1,36	3,01	21,47	18,51	19,31	100

Όνομα Σταθμού	Κωδικός Σταθμού	Γεωγ.Πλάτος Σταθμού	Γεωγ.Μήκος Σταθμού	Ύψος Σταθμού (m)	Περίοδος
ΜΕΘΩΝΗ	16734	37	22		1/1/2008 ΕΩΣ 31/12/2017

Μάιος										
Διεύθυνση Ανέμου	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CLM/VRB	SUM
Beaufort 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,56	3,56
Beaufort 1	0,75	0,86	0,16	0,00	0,00	0,05	0,54	0,54	8,89	11,80
Beaufort 2	2,16	6,47	2,53	1,29	0,54	1,08	4,53	4,47	6,14	29,20
Beaufort 3	1,08	1,13	2,86	1,13	0,22	0,48	11,05	11,58	0,00	29,53
Beaufort 4	0,11	0,05	0,97	0,43	0,05	0,11	9,86	10,56	0,00	22,14
Beaufort 5	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	1,45	1,45	0,00	2,96
Beaufort 6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,54	0,00	0,81
Beaufort 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Beaufort 8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Beaufort >= 9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUM	4,09	8,51	6,57	2,86	0,81	1,72	27,69	29,15	18,59	100

Ιούνιος										
Διεύθυνση Ανέμου	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CLM/VRB	SUM
Beaufort 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,13	3,13
Beaufort 1	0,27	0,71	0,38	0,00	0,00	0,00	0,22	0,22	8,57	10,38
Beaufort 2	1,87	4,89	0,77	0,44	0,11	0,99	5,33	6,81	5,55	26,76
Beaufort 3	1,10	0,71	0,49	0,22	0,11	0,55	11,59	12,91	0,00	27,69
Beaufort 4	0,38	0,00	0,27	0,22	0,05	0,05	10,82	14,12	0,00	25,93
Beaufort 5	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	1,26	3,90	0,00	5,27
Beaufort 6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,49	0,00	0,82
Beaufort 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Beaufort 8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Beaufort >= 9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUM	3,63	6,32	2,03	0,88	0,27	1,59	29,56	38,46	17,25	100

Ιούλιος										
Διεύθυνση Ανέμου	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CLM/VRB	SUM
Beaufort 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,96	2,96
Beaufort 1	0,55	1,26	0,22	0,05	0,00	0,00	0,49	0,60	8,33	11,51
Beaufort 2	1,64	4,88	0,27	0,05	0,11	0,44	4,77	5,65	3,84	21,66
Beaufort 3	0,88	0,22	0,00	0,00	0,00	0,44	13,60	13,10	0,00	28,23
Beaufort 4	0,27	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	10,80	17,65	0,00	28,78
Beaufort 5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,08	4,22	0,00	6,30
Beaufort 6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,49	0,00	0,55
Beaufort 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Beaufort 8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Beaufort >= 9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUM	3,34	6,36	0,55	0,11	0,11	0,88	31,80	41,72	15,13	100

Αύγουστος										
-----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Διεύθυνση Ανέμου	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CLM/VRB	SUM
Beaufort 0	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,22	4,27
Beaufort 1	0,62	0,93	0,21	0,00	0,00	0,00	0,31	0,36	8,39	10,81
Beaufort 2	2,52	9,01	0,51	0,15	0,10	1,03	5,25	6,79	4,63	30,01
Beaufort 3	1,44	0,57	0,10	0,05	0,10	0,98	12,15	10,55	0,00	25,94
Beaufort 4	0,51	0,21	0,00	0,05	0,05	0,00	11,17	12,61	0,00	24,60
Beaufort 5	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	3,14	0,00	4,01
Beaufort 6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,31	0,00	0,36
Beaufort 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Beaufort 8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Beaufort >= 9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUM	5,20	####	0,82	0,2	0,26	2,01	29,75	33,76	17,24	100

6

Όνομα Σταθμού	Κωδικός Σταθμού	Γεωγ.Πλάτος Σταθμού	Γεωγ.Μήκος Σταθμού	Ύψος Σταθμού (m)	Περίοδος
ΜΕΘΩΝΗ	16734	37	22		1/1/2008 ΕΩΣ 31/12/2017

Σεπτέμβριος

Διεύθυνση Ανέμου	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CLM/VRB	SUM
Beaufort 0	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,01	3,12
Beaufort 1	0,64	1,24	0,11	0,00	0,00	0,00	0,11	0,21	6,82	9,13
Beaufort 2	3,33	####	1,93	0,43	0,43	0,54	3,12	5,00	8,11	36,81
Beaufort 3	2,42	1,83	0,32	0,48	0,38	1,40	9,94	10,85	0,00	27,62
Beaufort 4	0,32	0,05	0,48	0,27	0,05	0,38	7,31	9,24	0,00	18,11
Beaufort 5	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,86	3,98	0,00	4,94
Beaufort 6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,27
Beaufort 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Beaufort 8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Beaufort >= 9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUM	6,93	####	2,85	1,1	0,86	2,31	21,33	29,55	17,95	100

8

Οκτώβριος

Διεύθυνση Ανέμου	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CLM/VRB	SUM
Beaufort 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,86	2,86
Beaufort 1	0,57	1,04	0,16	0,00	0,00	0,00	0,05	0,16	6,75	8,73
Beaufort 2	3,17	####	4,73	1,45	0,83	1,40	3,58	2,60	9,40	47,53
Beaufort 3	2,49	6,23	3,22	1,35	0,31	1,09	6,96	5,40	0,00	27,06
Beaufort 4	0,42	0,31	0,42	0,21	0,05	0,52	3,17	5,30	0,00	10,39
Beaufort 5	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,31	0,73	1,25	0,00	2,39
Beaufort 6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,68	0,00	0,88
Beaufort 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,10	0,00	0,16
Beaufort 8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Beaufort >= 9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUM	6,65	####	8,62	3,0	1,19	3,32	14,75	15,48	19,01	100

1

Νοέμβριος

Διεύθυνση Ανέμου	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CLM/VRB	SUM
Beaufort 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	3,58	3,64
Beaufort 1	0,11	0,43	0,32	0,00	0,00	0,05	0,16	0,21	8,45	9,74
Beaufort 2	3,37	####	4,33	1,61	1,23	1,18	3,32	1,71	10,70	47,14

Beaufort 3	2,09	8,72	3,64	2,09	0,54	1,55	4,01	3,85	0,00	26,48
Beaufort 4	0,54	0,16	1,18	0,32	0,27	0,86	2,78	3,69	0,00	9,79
Beaufort 5	0,00	0,00	0,11	0,11	0,00	0,32	0,32	0,80	0,00	1,66
Beaufort 6	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,86	0,27	0,00	1,28
Beaufort 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,11
Beaufort 8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,11
Beaufort >= 9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05
SUM	6,15	####	9,58	4,1	2,03	4,07	11,77	10,54	22,74	100

Δεκέμβριος

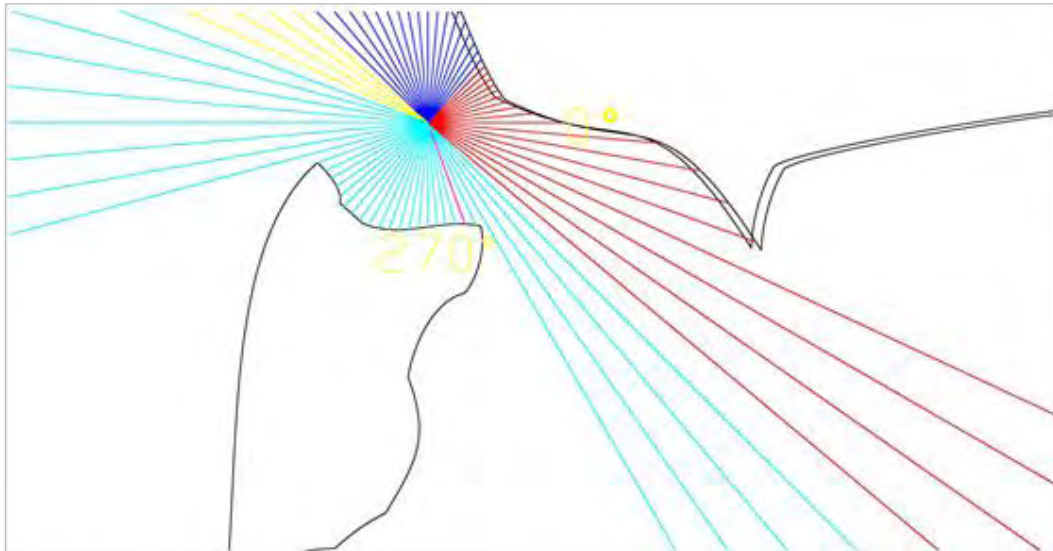
Διεύθυνση Ανέμου	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CLM/VRB	SUM
Beaufort 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,22	2,22
Beaufort 1	0,28	0,63	0,17	0,00	0,00	0,00	0,23	0,06	7,06	8,42
Beaufort 2	4,84	####	4,95	1,02	0,40	0,74	1,48	1,82	7,68	39,50
Beaufort 3	3,87	####	2,73	1,08	0,28	0,74	3,13	4,44	0,00	29,43
Beaufort 4	1,42	0,34	1,08	0,57	0,17	0,63	4,04	4,89	0,00	13,15
Beaufort 5	0,23	0,00	0,68	0,17	0,06	0,34	2,39	0,97	0,00	4,84
Beaufort 6	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,06	1,42	0,34	0,00	1,88
Beaufort 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,17	0,11	0,00	0,34
Beaufort 8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,23
Beaufort >= 9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUM	10,64	####	9,68	2,8	0,91	2,56	13,09	12,64	16,96	100

Πίνακας 1 Συχνότητα εμφάνισης ανέμου στη Μεθώνη(EMY)

4.3 Επιλογή Κατευθύνσεων Ανέμων

Οι άνεμοι που θα μελετήσουμε σε αυτή την εργασία με εφαρμογή στο λιμένα της Μεθώνης είναι εκείνοι που η παράγουν κύματα τα οποία φθάνουν στο λιμένα (δεν τον προσπερνούν). Συνεπώς, οι άνεμοι με γαλάζιο χρώμα είναι αυτοί που μας απασχολούν, όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα. Έτσι έχω κύριες κατευθύνσεις τον νότιο άνεμο (270 μοίρες), τον δυτικό (180 μοίρες) καθώς και τον νοτιοδυτικό (225 μοίρες).

Με τη βοήθεια του προγράμματος Autocad και χρήση του σχεδίου από το μάθημα Θέματα Ειδικών Λιμενικών Έργων του ΕΜΠ θέσαμε ένα χαρακτηριστικό σημείο, από όπου και πραγματοποιήσαμε στη συνέχεια τις μετρήσεις μας.



Εικόνα 44 Κατευθύνσεις ανέμων που επιλέχθηκαν

Το μήκος αναπτύγματος είναι μία κρίσιμη έννοια για την επίδραση ενός κυματισμού. Ως μήκος αναπτύγματος ορίζεται η χαρακτηριστική γραμμική διάσταση του θαλάσσιου πεδίου από ακτή σε ακτή κατά μήκος της οποίας δρα ο κυματισμός. Με βάση την επίδραση του ανέμου σε τομέα $\pm 45^\circ$ στην περίπτωση πολύπλοκης τοπογραφίας ακτών και πλευρικού περιορισμού του πεδίου ανάπτυξης κυματισμών, το ισοδύναμο (effective) μήκος ανάπτυξης ορίζεται ως:

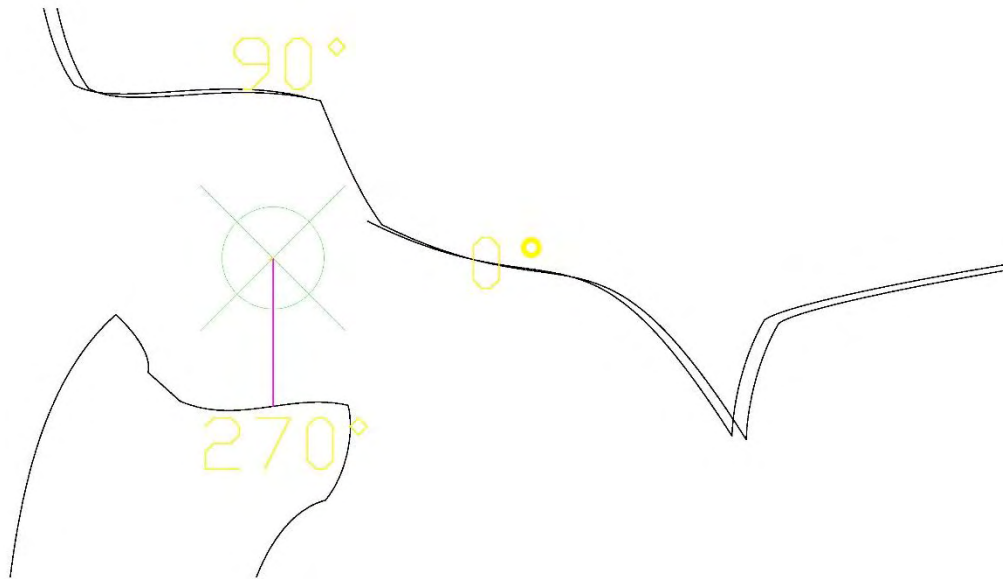
$$F_{eff} = \frac{\sum_i F_i \cos^2 a_i}{\sum_i \cos a_i}$$

Όπου επιλέξαμε $\Delta a = 5$ μοίρες εκατέρωθεν της κύριας κατεύθυνσης του κάθε ανέμου που μελετούμε, a_i η γωνία που σχηματίζεται από την κύρια κατεύθυνση πνοής και την εκάστοτε ακτίνα ($a_i = i \Delta a$).

Στη συνέχεια, με βάση το σημείο μετρήσεων, σχεδιάσαμε τον πρώτο κύριο άνεμο που μας ενδιαφέρει, τον νότιο άνεμο (270°):

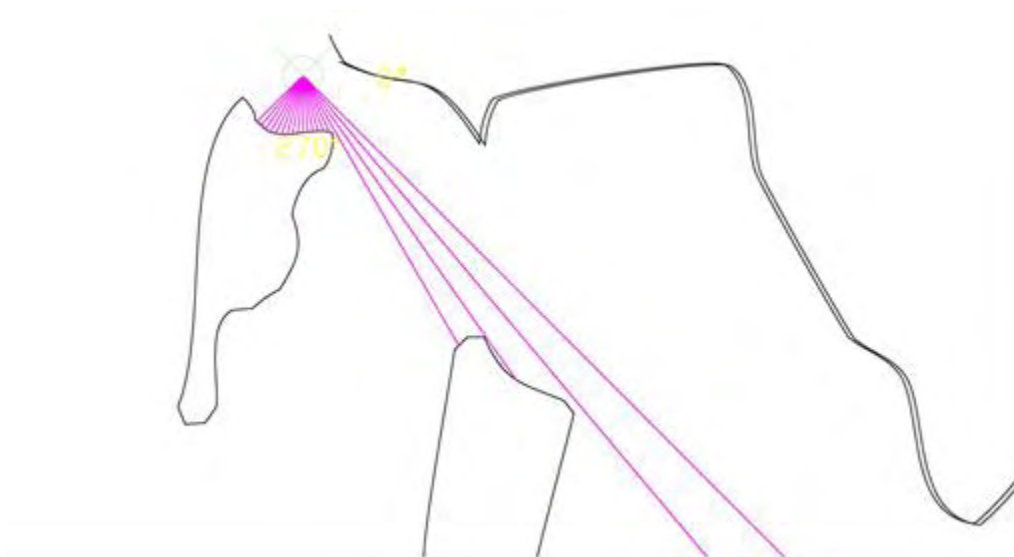
- Νότιος άνεμος (270°)

Η γραμμή των 270° ξεκινάει από το Σημείο Μετρήσεων και καταλήγει ως το επόμενο σημείο που θα συναντήσει ακτή:



Εικόνα 45 Κύρια κατεύθυνση του Νότιου ανέμου

Έπειτα, φέραμε δύο ακόμα ευθείες εκατέρωθεν της κύριας διεύθυνσης του ανέμου, από τις οποίες η κάθε μία θα σχηματίζει γωνία 45° με αυτήν και σχεδιάσαμε και στους δύο τομείς των 45° ευθείες, οι οποίες σχηματίζουν γωνίες των 5° :



Εικόνα 46 Νότιος άνεμος (όλες οι κατευθύνσεις)

Παρατηρώντας την παρακάτω εικόνα γίνεται αντιληπτό ότι για κάποιες κατευθύνσεις του ανέμου (νοτιοανατολικός άνεμος) έχουμε πολύ μεγάλα μήκη αναπτύγματος:



Εικόνα 47 Μήκη ανατύγματος για τον Νότιο άνεμο

Για κάθε μία από τις παραπάνω ευθείες, βρήκαμε το αντίστοιχο μήκος μέσω του προγράμματος:

Μοίρες	a_i	Απόσταση (km)
225	45	1,32
230	40	1,32
235	35	1,33
240	30	1,32
245	25	1,30
250	20	1,27
255	15	1,24
260	10	1,21
265	5	1,18
270	0	1,16
275	5	1,15
280	10	1,15
285	15	1,17
290	20	1,20
295	25	1,26
300	30	6,35
305	35	7,56
310	40	806,42
315	45	221,53

Πίνακας 2 Αναλυτικός υπολογισμός F_{eff} για τον άνεμο 270°

$Cosa_i$	$Fcos^2a_i$
0,707107	0,661
0,766044	0,772847
0,819152	0,892443
0,866025	0,99225

0,906308	1,065348
0,939693	1,118789
0,965926	1,153204
0,984808	1,168665
0,996195	1,171037
1	1,161
0,996195	1,143249
0,984808	1,119203
0,965926	1,090692
0,939693	1,061393
0,906308	1,035778
0,866025	4,76025
0,819152	5,069481
0,766044	473,2267
0,707107	110,763

Πίνακας 3 Αναλυτικός υπολογισμός F_{eff} για τον άνεμο 270° .

$Sum(\cos\alpha_i)$	$Sum(F\cos^2\alpha_i)$
16,90251472	609,4263096

Πίνακας 4 Αναλυτικός υπολογισμός F_{eff} για τον άνεμο 270° .

Συνεπώς, προκύπτει ότι $F_{eff} = 36,0554\text{km}$ για τον άνεμο των 270° (νότιος).

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε τα μεγέθη για τις υπόλοιπες κύριες κατευθύνσεις που μας ενδιαφέρουν, δηλαδή το δυτικό και νοτιοδυτικό άνεμο.

- Δυτικός άνεμος(180°):



Εικόνα 48 Δυτικός άνεμος (όλες οι κατευθύνσεις)

Παρατηρούμε ότι για το δυτικό άνεμο έχουμε πολύ μεγαλύτερα μήκη αναπτύγματος και συνεπώς είναι πολύ κρίσιμος άνεμος για την περιοχή μελέτης μας.

Όπως προηγουμένως υπολογίζουμε τα μεγέθη που μας ενδιαφέρουν:

Μοίρες	α_i	Απόσταση (km)
160	20	488,43
165	15	499,85
170	10	568,9
175	5	558,34

180	0	570,38
185	5	971,41
190	10	629,25
195	15	1014,2
200	20	1,31
205	25	1,26
210	30	1,24
215	35	1,24
220	40	1,28
225	45	1,32

Πίνακας 5 Αναλυτικός υπολογισμός F_{eff} για 180°

Cosa_i	Fcos²a_i
0,9396926	431,2945
0,9659258	466,3664
0,9848078	551,7456
0,9961947	554,0988
1	570,38
0,9961947	964,031
0,9848078	610,2758
0,9659258	946,2615
0,9396926	1,156759
0,9063078	1,034956
0,8660254	0,93
0,819152	0,832052
0,7660444	0,751135
0,7071068	0,66

Πίνακας 6 Αναλυτικός υπολογισμός F_{eff} για 180°

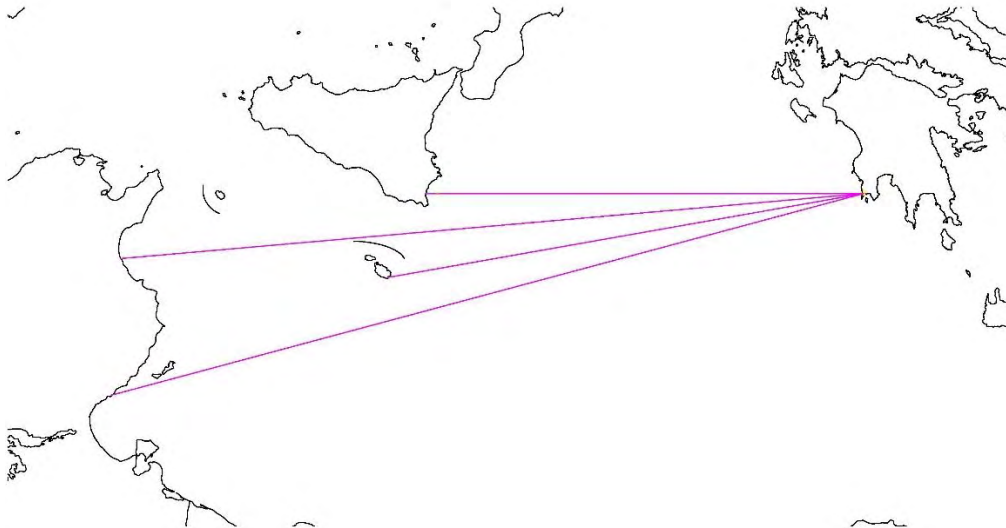
$\text{Sum}(\text{cosa}_i)$	$\text{Sum}(F\text{cos}^2a_i)$
12,83787826	5099,818514

Πίνακας 7 Αναλυτικός υπολογισμός F_{eff} για 180°

Συνεπώς, προκύπτει ότι $F_{eff} = 397,248 \text{ km}$ για τον άνεμο των 180° (δυτικός άνεμος). Βλέπουμε ότι το μήκος αναπτύγματος για αυτή την κατεύθυνση ανέμου είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό του βορείου ανέμου (περίπου 10 φορές μεγαλύτερο).

Για το δυτικό άνεμο με τη χρήση υπολογιστικού προγράμματος παίρνουμε τα εξής αποτελέσματα:

- Νοτιοδυτικός άνεμος (225°):



Εικόνα 49 Νότιοδυτικός άνεμος (όλες οι κατευθύνσεις)

Μοίρες	a_i	Απόσταση (km)
180	45	570,38
185	40	971,41
190	35	629,25
195	30	1014,2
200	25	1,31

205	20	1,26
210	15	1,24
215	10	1,24
220	5	1,28
225	0	1,32
230	5	1,32
235	10	1,33
240	15	1,32
245	20	1,3
250	25	1,27
255	30	1,24
260	35	1,21
265	40	1,18
270	45	1,16

Πίνακας 8 Αναλυτικός υπολογισμός F_{eff} για 225°

Cosa_i	$\text{Fcos}^2\alpha_i$
0,707107	285,19
0,766044	570,0468
0,819152	422,2331
0,866025	760,65
0,906308	1,076026
0,939693	1,112608
0,965926	1,156936
0,984808	1,202609
0,996195	1,270277

1	1,32
0,996195	1,309973
0,984808	1,289896
0,965926	1,231577
0,939693	1,147929
0,906308	1,04317
0,866025	0,93
0,819152	0,811922
0,766044	0,692452
0,707107	0,58

Πίνακας 9 Αναλυτικός υπολογισμός F_{eff} για 225°

$\text{Sum}(\cos a_i)$	$\text{Sum}(F \cos^2 a_i)$
16,90251472	2054,295251

Πίνακας 10 Αναλυτικός υπολογισμός F_{eff} για 225°

Συνεπώς, προκύπτει ότι $F_{eff} = 121,538 \text{ km}$ για τον άνεμο των 225° (νοτιοδυτικός άνεμος).

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τους ανεμογενείς κυματισμούς τόσο από την προσομοίωση στο αριθμητικό μοντέλο MIKE 21, όσο και από την εφαρμογή εμπειρικών εξισώσεων σε περιβάλλον Matlab. Στο τέλος του κεφαλαίου δίνονται πίνακες ετήσιας στερεομεταφοράς για κάθε μία από τις μεθόδους επίλυσης ξεχωριστά για κάθε άνεμο αλλά και σαν συνολική επιρροή σε ένα έτος. Επιπλέον υπολογίζεται η μεταφορά φερτών υλικών για εναλλακτικό σενάριο που προτείνεται σε αυτή τη διπλωματική.

Η μελέτη ενός ακραίου φαινομένου (βλ. Αποτελέσματα για 8 BF) είναι σημαντική καθώς συντελεί σε έντονη στερεομεταφορά και κατά συνέπεια αλλαγή της ακτογραμμής. Ωστόσο, εξίσου αναγκαία είναι η μελέτη των κυματισμών και της στερεομεταφοράς, για ανέμους που είναι ικανοί να προκαλέσουν μεταβολή στη μορφολογία της ακτογραμμής (>4BF) και έχουν μεγάλη συχνότητα εμφάνισης. Έτσι, παρατηρώντας κανείς τον πίνακα συχνότητας εμφάνισης των ανέμων (Πίνακας 1) συνειδητοποιεί ότι τα 8 BF έχουν ελάχιστη έως και μηδενική συχνότητα εμφάνισης. Για αυτό το λόγο θα παρατεθούν παρακάτω επιπλέοντα αποτελέσματα του ρυθμού στερεομεταφοράς για τα 5 έως και 7 BF για κάθε ένα από τους ανεμογενείς κυματισμούς που μας απασχολούν.

Ένταση (BF)	Ετήσια συχνότητα εμφάνισης (%)		
	Νότιος	Νοτιοδυτικός	Δυτικός
5	0,015	0,2325	1,352
6	0,01	0,0717	0,6717
7	0	0,01	0,0775
8	0	0	0,0492

Πίνακας 11 Ετήσια συχνότητα εμφάνισης

5.1 Αποτελέσματα από το μοντέλο MIKE 21

Τα αποτελέσματα σε αυτό το κεφάλαιο εμφανίζονται χωρικά στην προβολή του λιμένα και αφορούν το πέρας του φαινομένου, το οποίο έχει οριστεί 3 ώρες (χαρακτηριστική διάρκεια φαινομένου). Επιπλέον, οι εντάσεις των τριών κατευθύνσεων οι οποίες θα αναλυθούν και αφορούν το λιμένα της Μεθώνης (νότιος, νοτιοδυτικός, δυτικός) είναι από πέντε έως και οκτώ μποφόρ.

Οι χάρτες που παρατίθενται για όλους τους ανεμογενείς κυματισμούς είναι αυτοί που αφορούν την ταχύτητα των κυματογενών ρευμάτων, τους ρυθμούς στερεομεταφοράς κατά x και y και την κατεύθυνση του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς. Όλα τα αποτελέσματα εμφανίζονται για ανέμους που έχουν κάποια συχνότητας εμφάνισης.

Επίσης είναι χρήσιμο να σημειωθεί ότι οι τιμές όλων των παραμέτρων που θα παρουσιαστούν είναι πιθανό να παρουσιάζουν αρκετά σημαντικά σφάλματα στα θαλάσσια όρια της χωρικής προβολής (δηλαδή στο δυτικό και στο νότιο όριο). Αυτό αναφέρεται διότι έχουν οριστεί οι τιμές των χαρακτηριστικών των κυματισμών στα βαθιά βάσει της μεθόδου SMB, το οποίο όμως δεν ισχύει καθ' όλο το μήκος αυτών αφού σε κάποια σημεία συναντούν ρηγά νερά. Η απλοποίηση αυτή είναι αναπόφευκτη αφού προσφέρει σωστά δεδομένα στο μοντέλο για την εισαγωγή κυματισμών από τα βαθιά, οι οποίοι έχουν μεγάλα μήκη αναπτύγματος τα οποία δεν μπορούν να σχεδιασθούν σε όλη τους την έκταση στο μοντέλο. Αν η επιλογή του χρήστη ήταν ο σχεδιασμός μεγαλύτερης κλίμακας και συνεπώς απεικόνιση μεγαλύτερου ποσοστού του μήκος αναπτύγματος, τότε θα είχαμε απλουστευμένη βαθυμετρία ως προς τη σχεδίαση. Στην παρούσα διπλωματική στόχος είναι η διερεύνηση της στερεομεταφοράς εντός του λιμένα. Για αυτό το λόγο επιλέχθηκε η απεικόνιση μίας αναλυτικής βαθυμετρίας (ανά 0.5 μέτρα βάθους) και συνεπώς ορθότερη διάδοση του κυματισμού στα ρηγά.

5.1.1 Αποτελέσματα για Νότιο Άνεμο

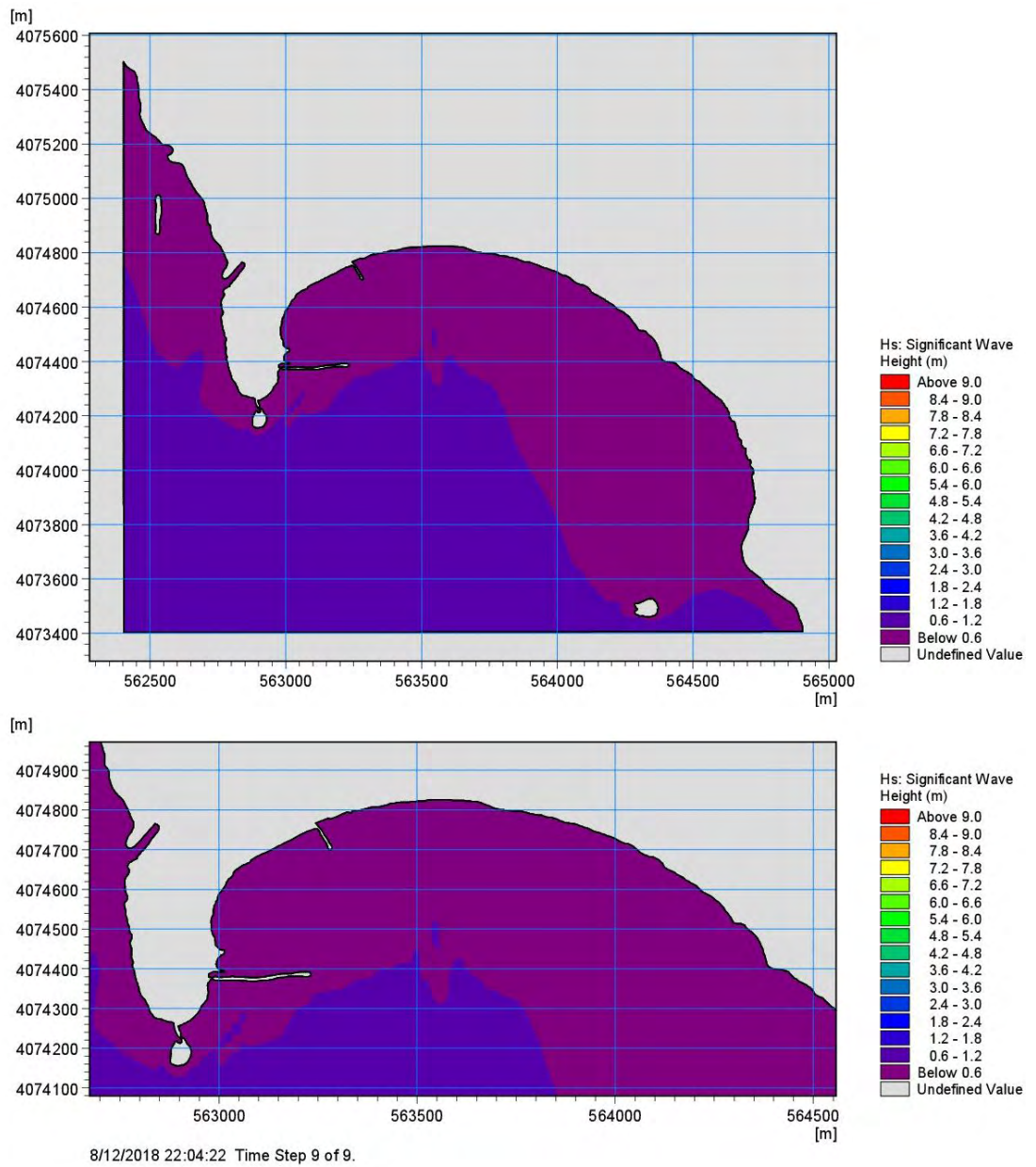
5.1.1.1 Αποτελέσματα για Νότιο άνεμο έντασης 4 Μποφόρ

Είναι γνωστό ότι ένα κυματικό φαινόμενο που προκαλείται από έναν ήπιο άνεμο θα εξελιχθεί με μικρές τιμές για όλες τις παραμέτρους που επιδρούν στον κυματισμό και στον πυθμένα. Για τον Νότιο άνεμο έντασης 4 BF, στα σχήματα 5.1.1 και 5.1.2 απεικονίζονται το χαρακτηριστικό και το μέγιστο ύψος κυματισμού αντίστοιχα. Παρατηρείται λοιπόν ότι τα ύψη για αυτό τον ανεμογενή κυματισμό είναι αρκετά μειωμένα, με τιμές να κινούνται στο μέγιστο κυματισμό και σε μεγάλη απόσταση από το λιμένα μέχρι και 1.5 μέτρο, ενώ εντός αυτού και κατάντη του κυματοθραύστη κυμαίνονται σε τιμές μικρότερες των 0.5 μέτρων. Επιπλέον, είναι εμφανής η μικρή πιθανότητα θραύσης κυματισμού καθώς αυτοί διαδίδονται προς τα ρηχά. Η ίδια εικόνα παρατηρείται και για την περίοδο αιχμής στο σχήμα 5.1.4 με πολύ μικρές τιμές σε όλη την έκταση της απεικόνισης.

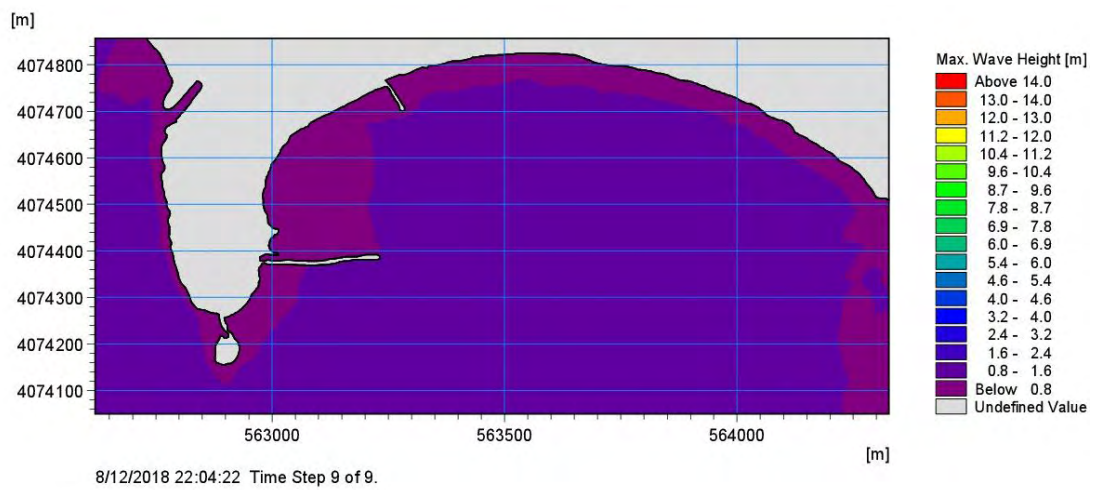
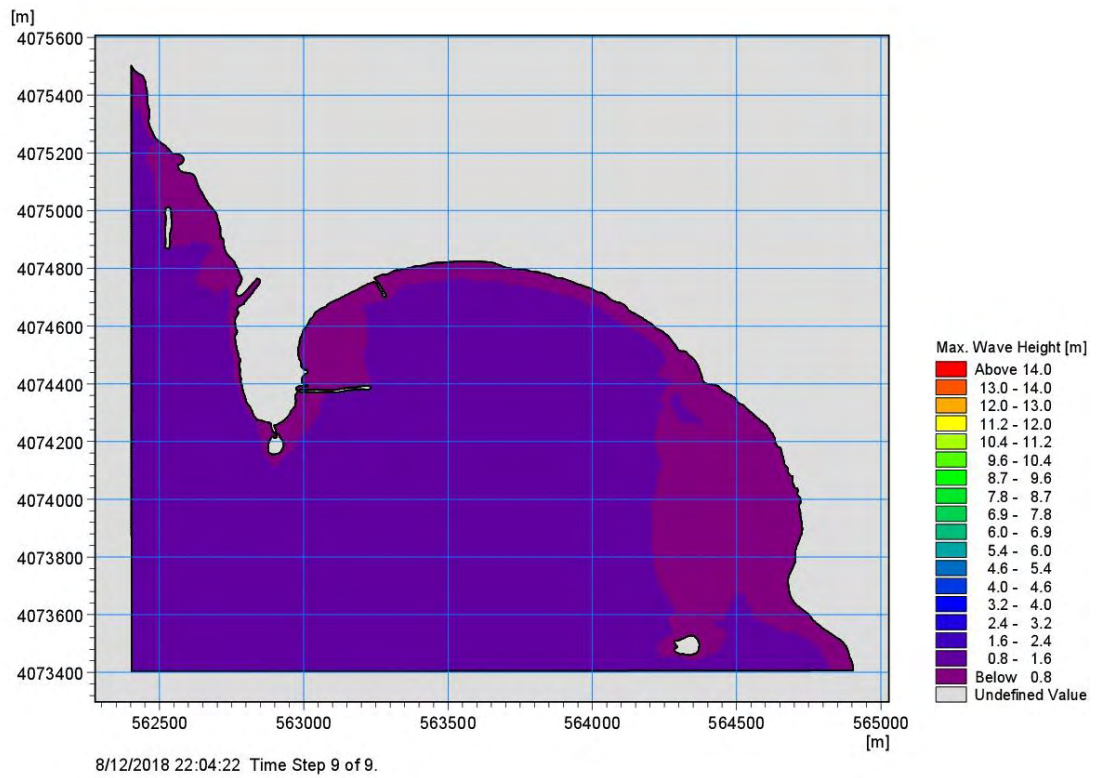
Στο Σχήμα 5.1.5 είναι φανερό ότι η υδροδυναμική κυκλοφορία λαμβάνει χώρα κυρίως πριν την διέλευση των κυματισμών από το μεγάλο κυματοθραύστη αλλά και τον εγκάρσιο μικρότερο κυματοθραύστη, γεγονός που επιβεβαιώνεται από τα βέλη ταχυτήτων (πιο έντονα βέλη με μεγαλύτερο μήκος). Η ταχύτητα κατά x στην περιοχή γύρω από αυτούς σημειώνει θετικές τιμές τοπικά της τάξης του 0.1-0.25 m/s λόγω περίθλασης και ανάκλασης, το οποίο είναι η πρώτη ένδειξη επιβεβαίωσης της προσάμμωσης στο λιμένα, κυρίως στην περιοχή γύρω από τους κυματοθραύστες ακόμα και σε ένα τόσο ήπιο κυματισμό. Επιπλέον, στο Σχήμα 5.1.6 παρατηρείται παρόμοια εικόνα για την ταχύτητα κατά y αλλά με μικρότερες τιμές και τις θετικές να λαμβάνονται μόνο ανάντη των κυματοθραυστών.

Στο σχήμα 5.1.7 παρατηρούμε ότι η στερεομεταφορά κατά x και y είναι σχεδόν μηδενική με τιμές της τάξεως του 10^{-5} m³/s/m να λαμβάνουν χώρο στην περιοχή ανάντη των κυματοθραυστών. Γίνεται αντιληπτό λοιπόν ότι για ανέμους τόσο μικρής έντασης οι κυματισμοί που δημιουργούνται δεν προκαλούν έντονη προσάμμωση ή διάβρωση στην περιοχή του λιμένα. Στο Σχήμα 5.1.8 βλέπουμε την κατεύθυνση του συνολικού αυτού (μικρού) όγκου φερτών μετρημένη σε μοίρες από το Βορρά (true North) και παρατηρείται η πορεία αυτών εντός της περιοχής του λιμένα.

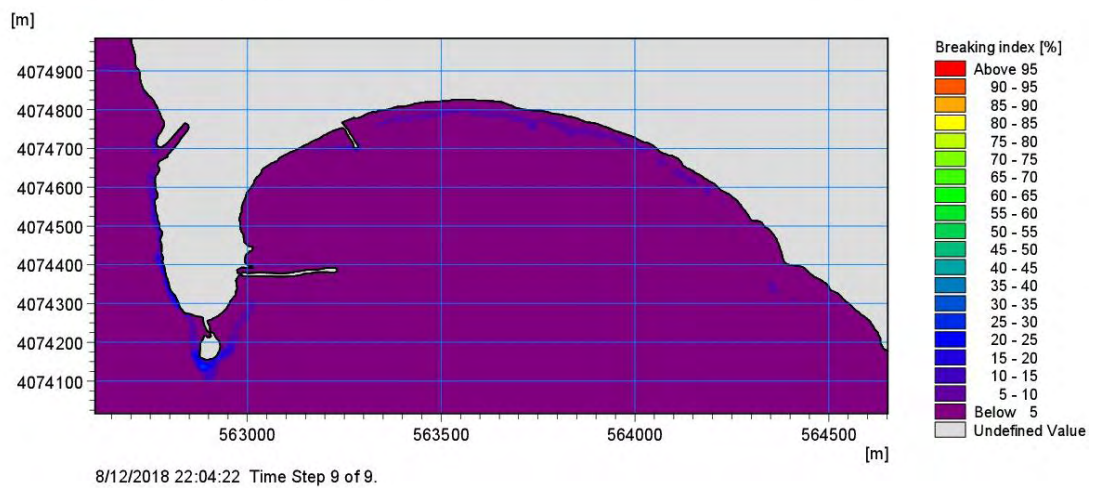
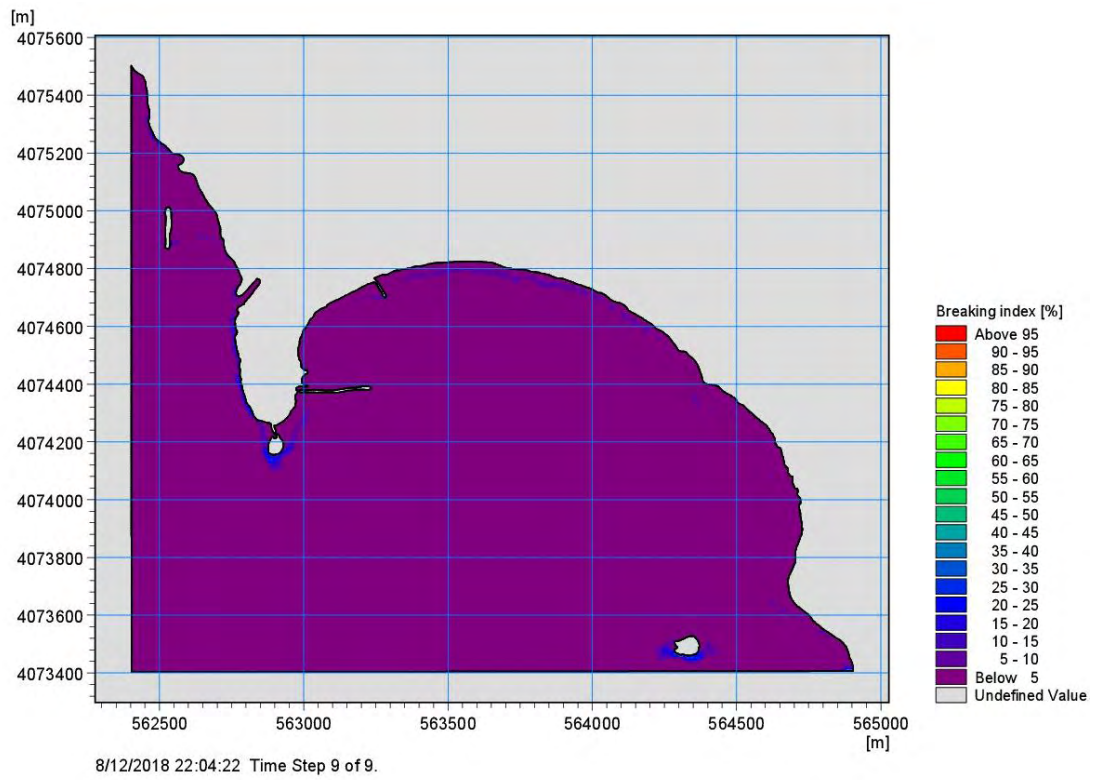
Τέλος, στο Σχήμα 5.1.9 παρατηρούμε ότι ο ρυθμός μεταβολής του πυθμένα λαμβάνει σε γενικές γραμμές μικρές τιμές και ειδικότερα στην περιοχή εντός του λιμένα κυμαίνονται από $-2 \cdot 10^{-3}$ - $2 \cdot 10^{-2}$ m/d, με τις αρνητικές τιμές να σημειώνονται κατάντη του κυματοθραύστη, ενώ οι θετικές εν γένει εντός του λιμένα.



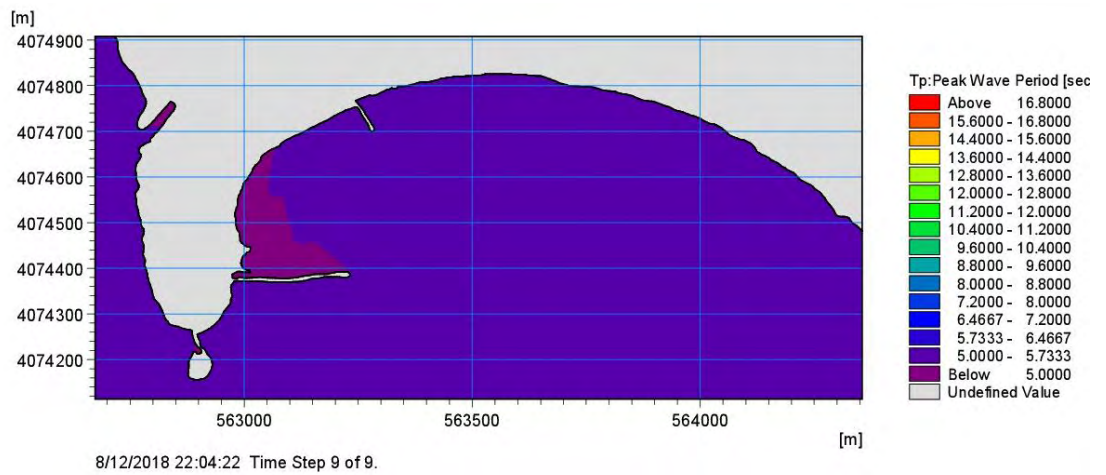
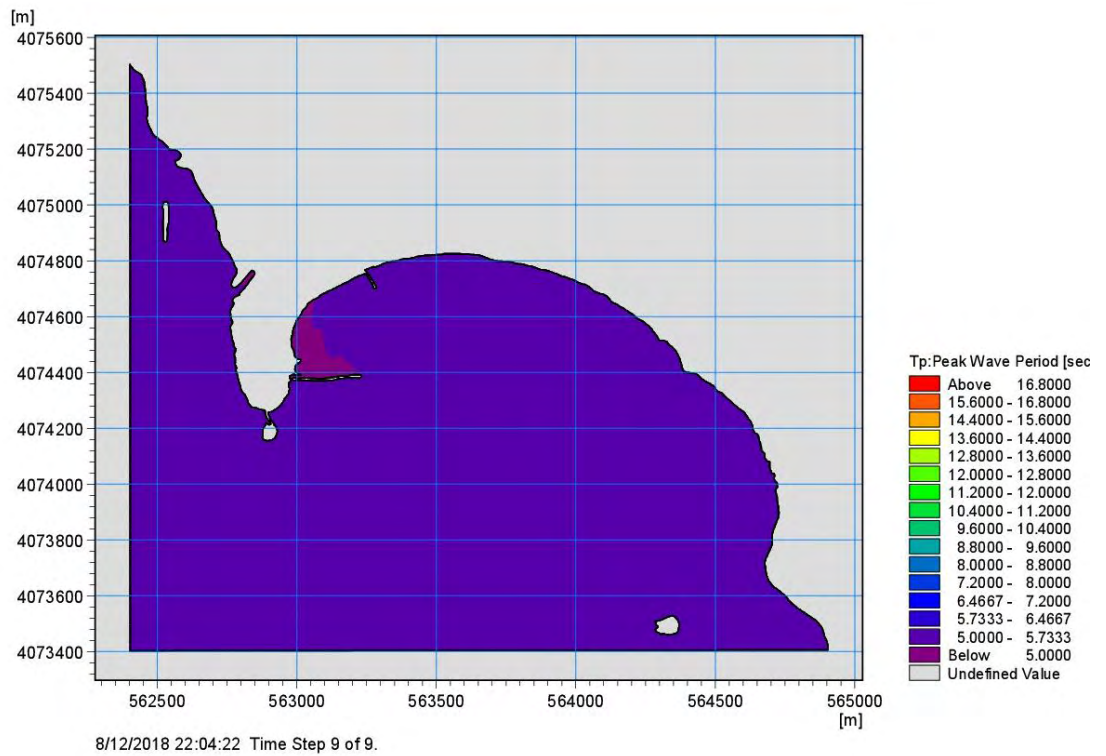
Σχήμα 5.1. 1 Χωρική κατανομή του χαρακτηριστικού ύψους κύματος για Νότιο άνεμο 4 BF



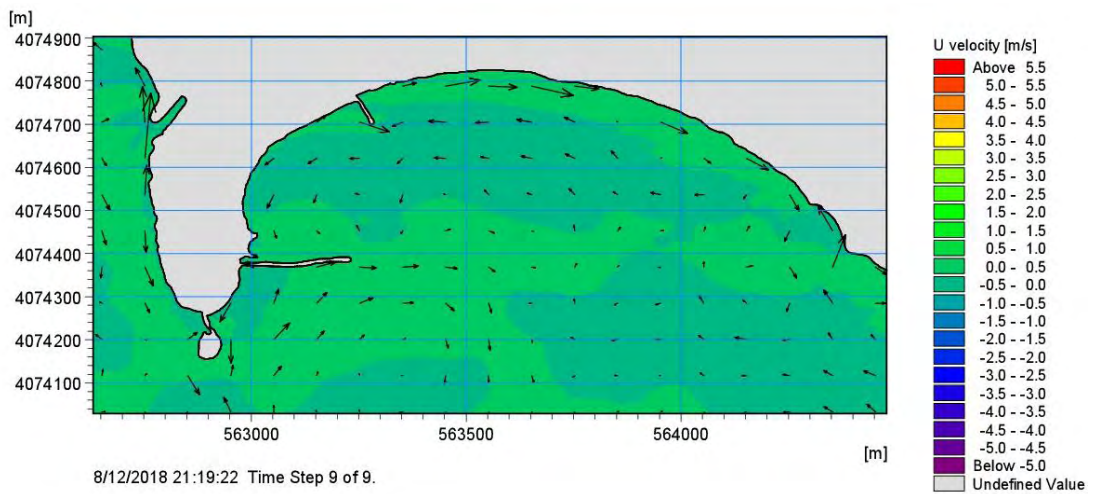
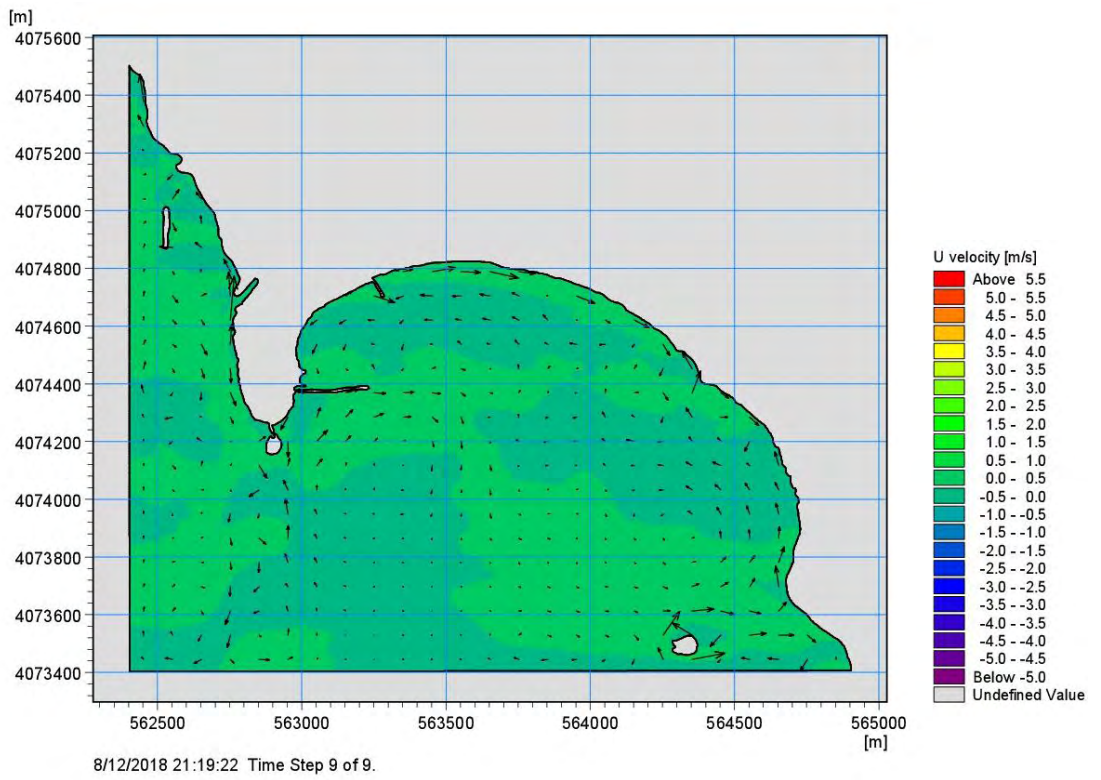
Σχήμα 5.1. 2 Χωρική κατανομή μέγιστου ύψους κύματος για Νότιο άνεμο 4 BF



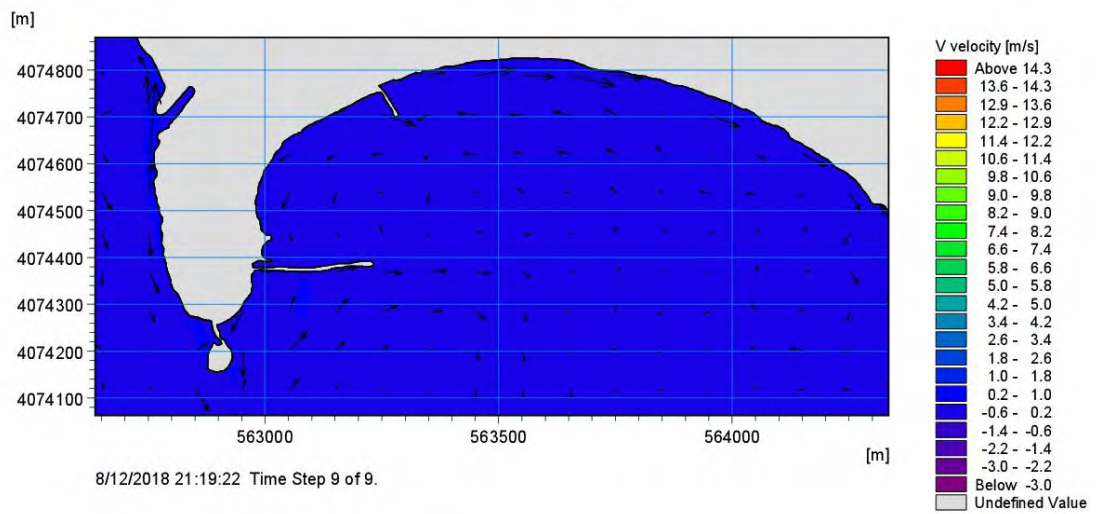
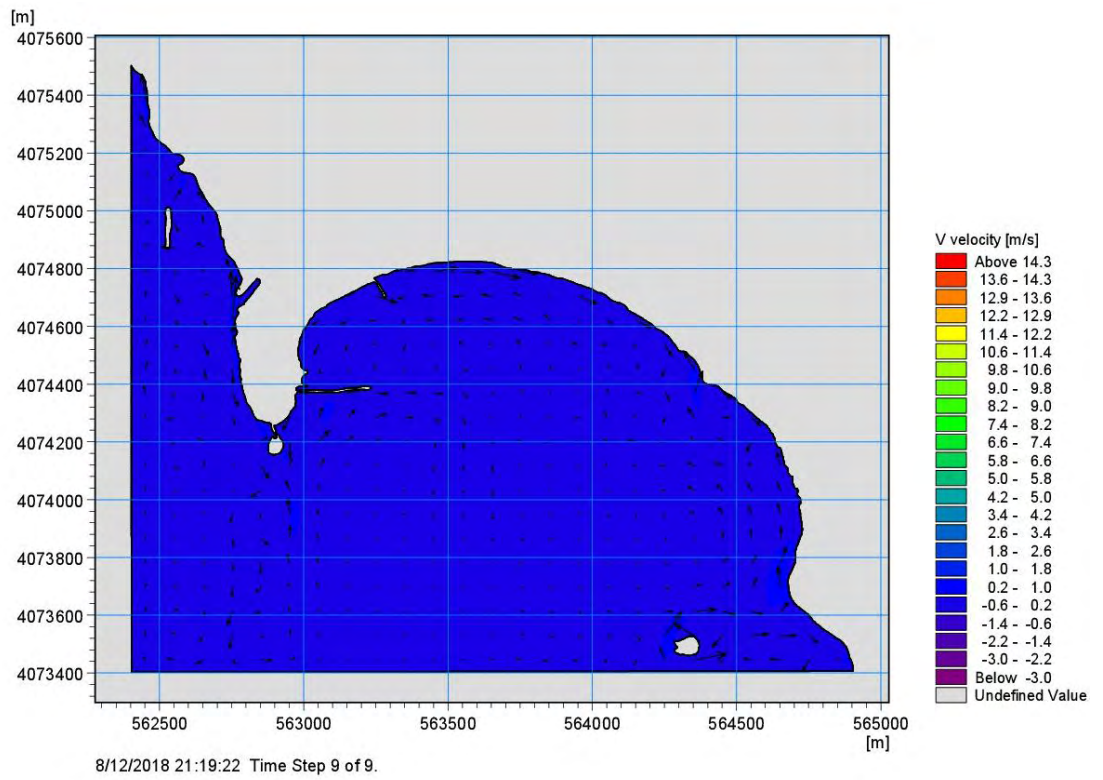
Σχήμα 5.1. 3 Χωρική κατανομή του δείκτη θραύσης για Νότιο άνεμο 4 BF



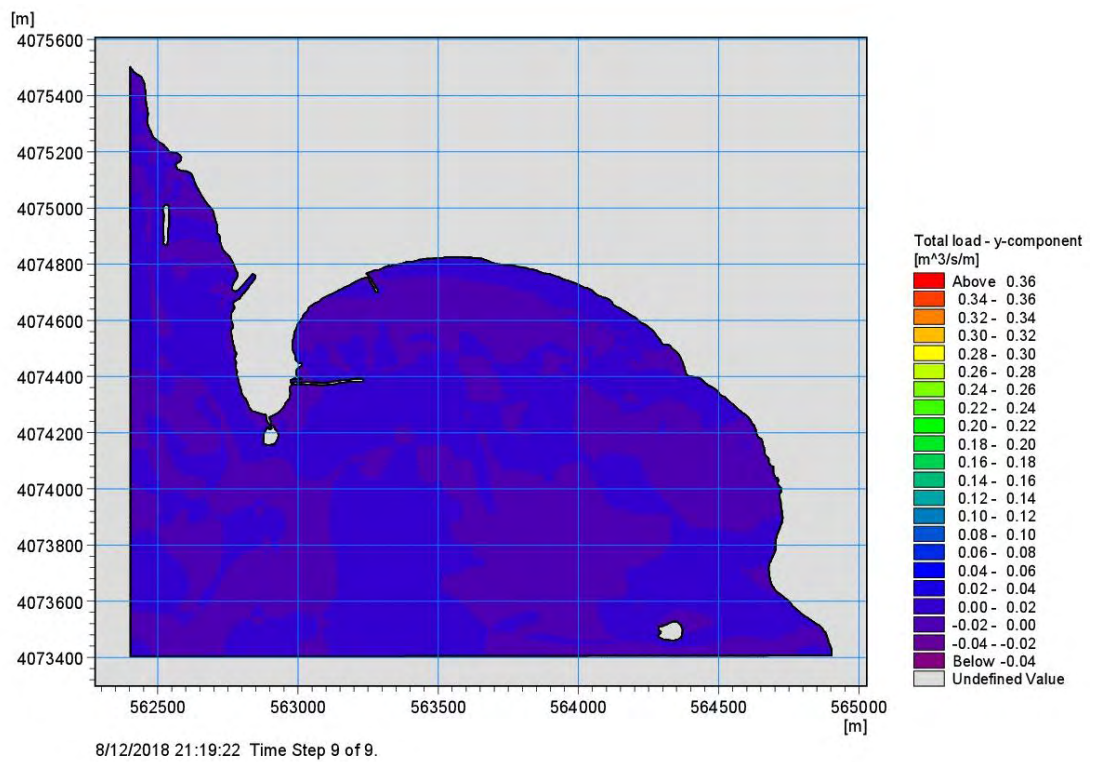
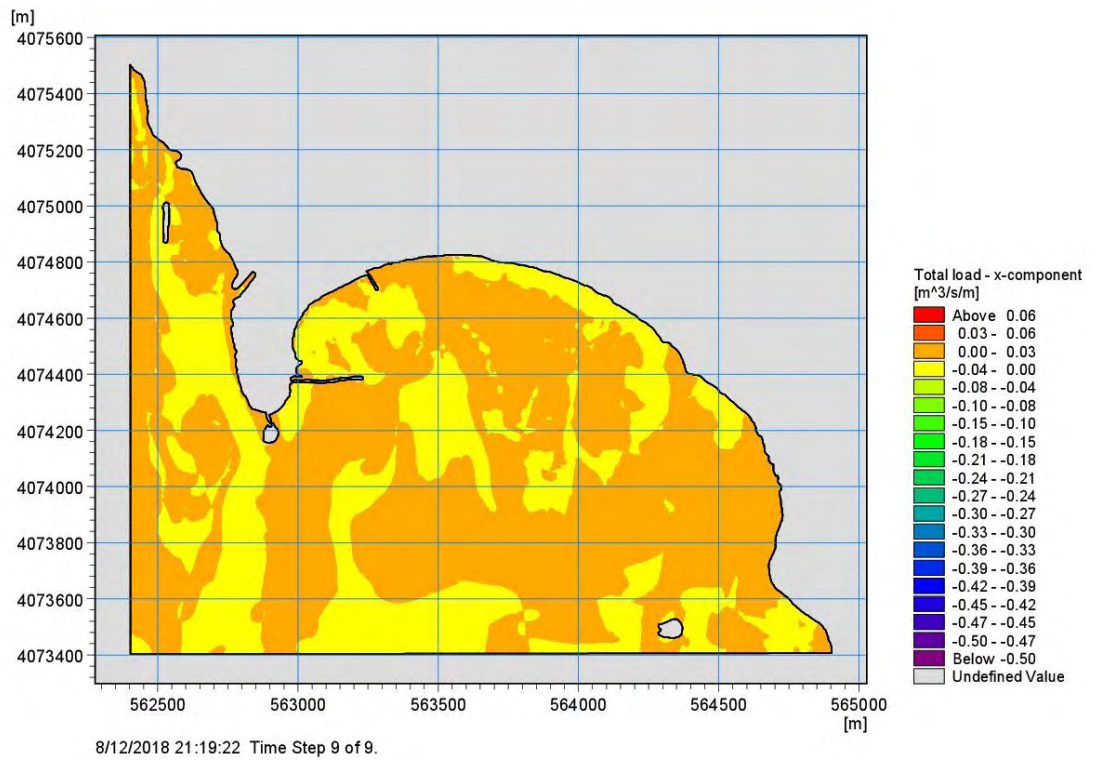
Σχήμα 5.1. 4 Χωρική κατανομή της περιόδου αιχμής για Νότιο άνεμο 4 BF



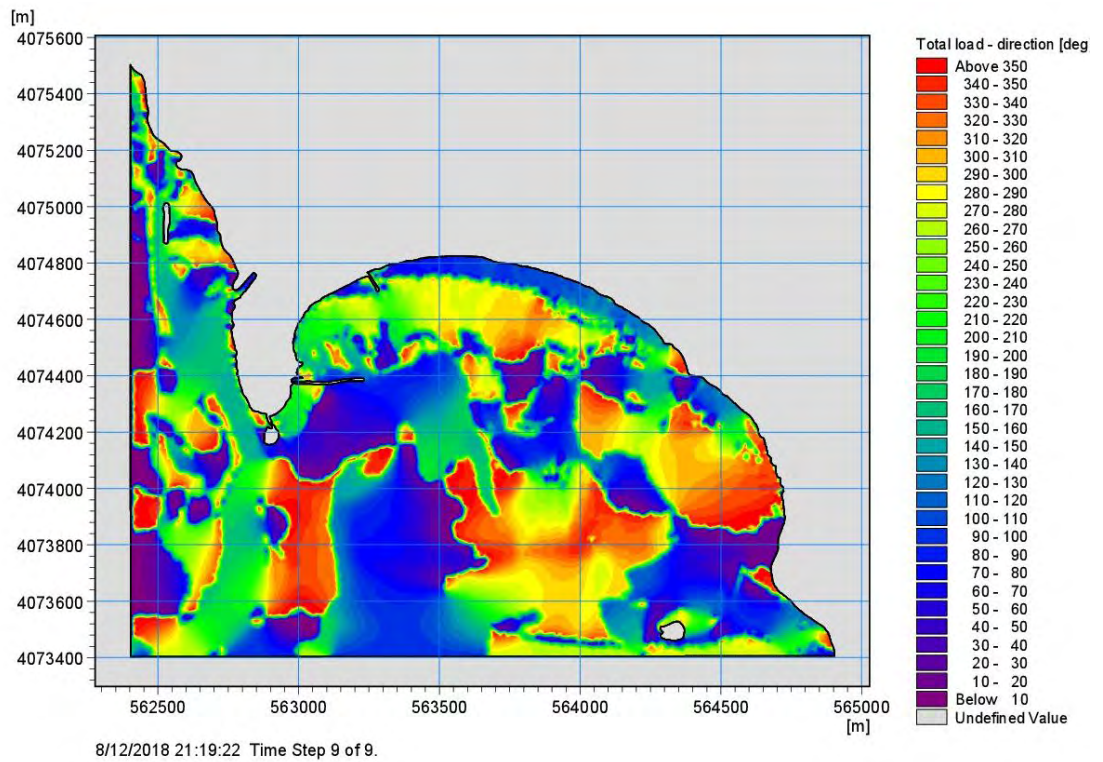
Σχήμα 5.1. 5 Χωρική κατανομή της ταχύτητας κατά χ για Νότιο άνεμο 4 BF



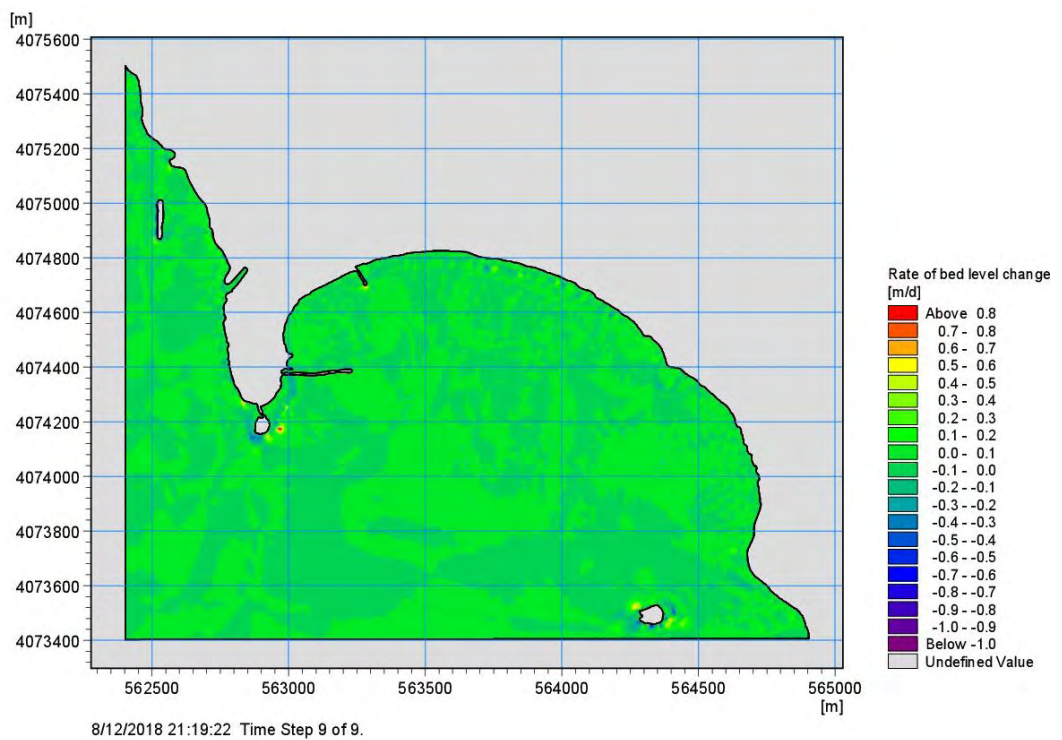
Σχήμα 5.1. 6 Χωρική κατανομή της ταχύτητας κατά y για Νότιο άνεμο 4 BF



Σχήμα 5.1. 7 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά x και y για Νότιο άνεμο 4 BF



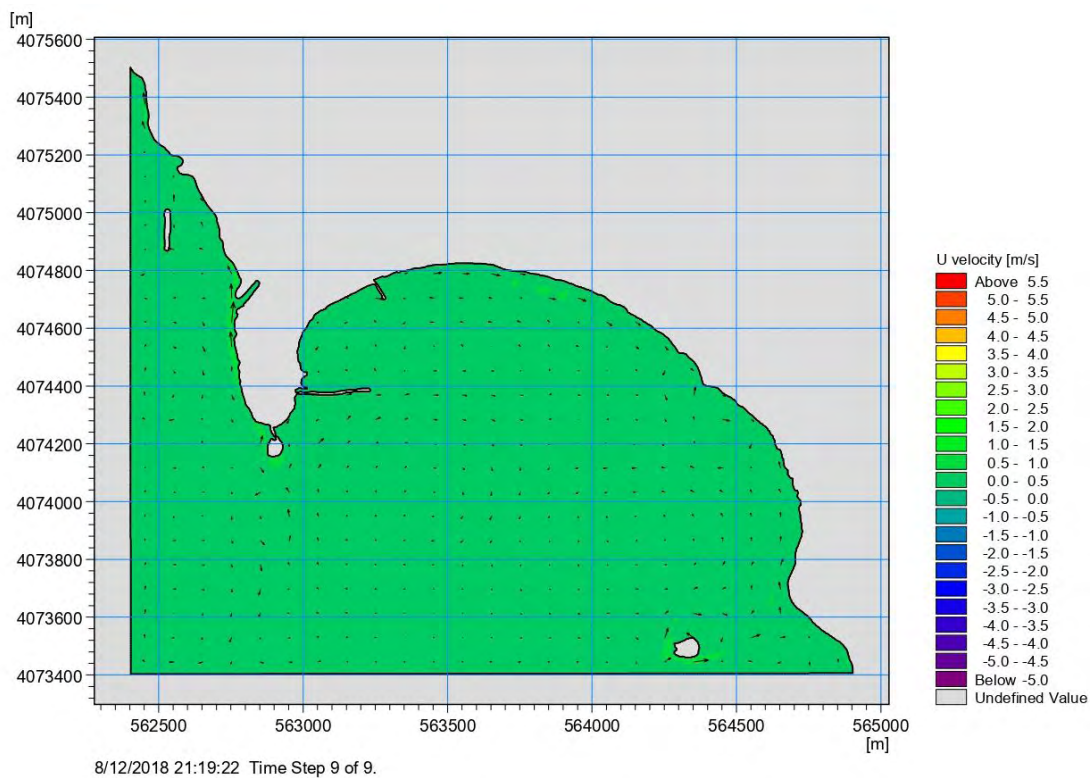
Σχήμα 5.1. 8 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νότιο άνεμο 4 BF



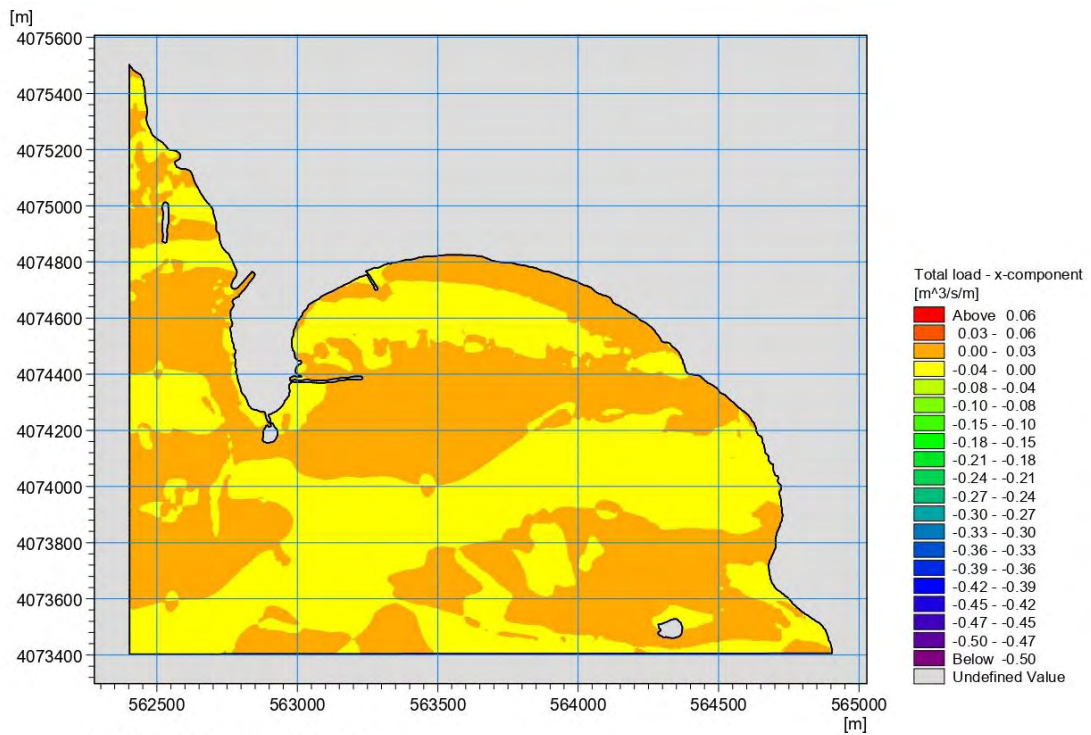
Σχήμα 5.1. 9 Χωρική κατανομή του ρυθμού αλλαγής της στάθμης του πυθμένα για Νότιο άνεμο 4 BF

5.1.1.2 Αποτελέσματα για Νότιο άνεμο έντασης 5 Μποφόρ

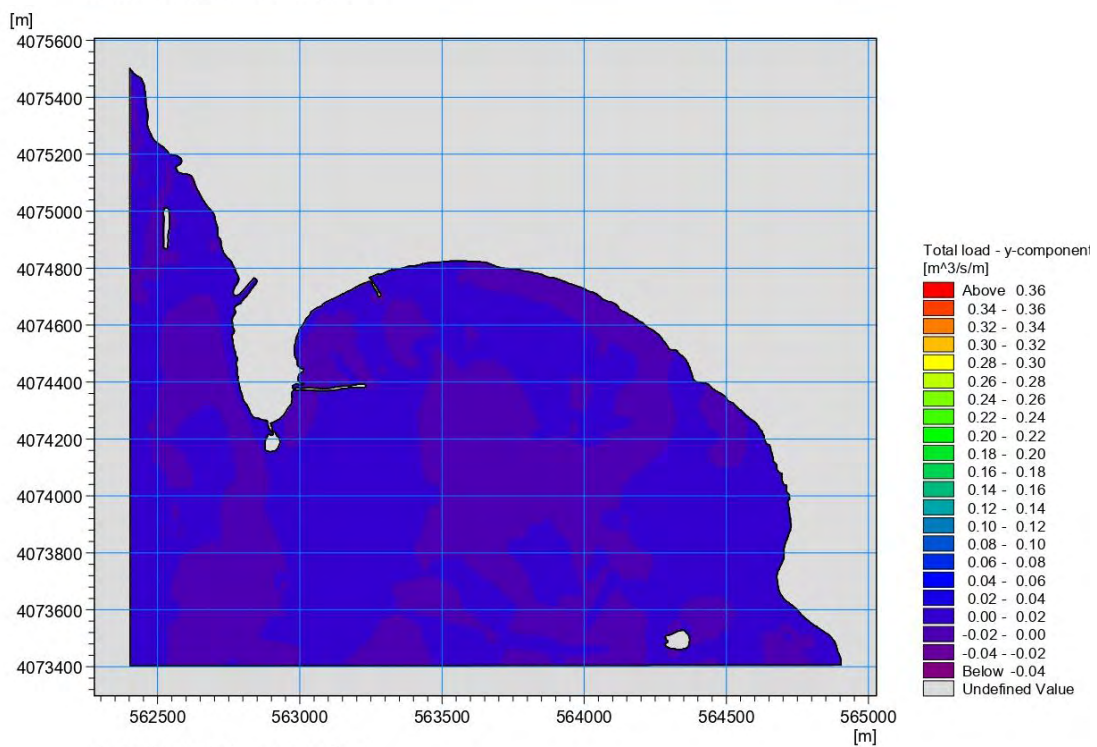
Για κάθε άνεμο που μελετάται σε αυτή τη διπλωματική εργασία, θα δίνονται οι χωρικές μεταβολές ταχυτήτων των κυματογενών ρευμάτων, οι ρυθμοί στερεομεταφοράς κατά x και y και η κατεύθυνση του συνολικού όγκου μεταφοράς φερτών για κάθε ένταση ανέμου από 5 έως και 7 Μποφόρ με συχνότητα εμφάνισης. Τα αποτελέσματα για τους ρυθμούς στερεομεταφοράς αλλά και για ετήσιο προφίλ παρατίθενται στο υποκεφάλαιο 5.1.4.



Σχήμα 5.1. 10 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Νότιο άνεμο 5 BF

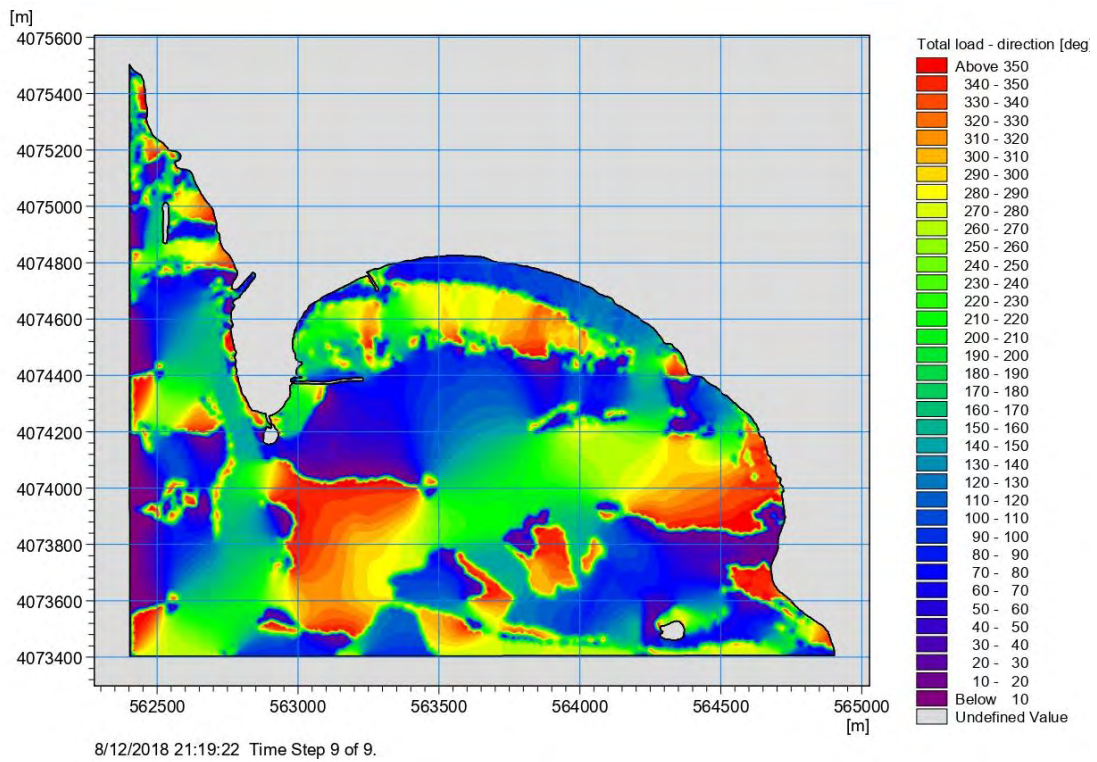


8/12/2018 21:19:22 Time Step 9 of 9.



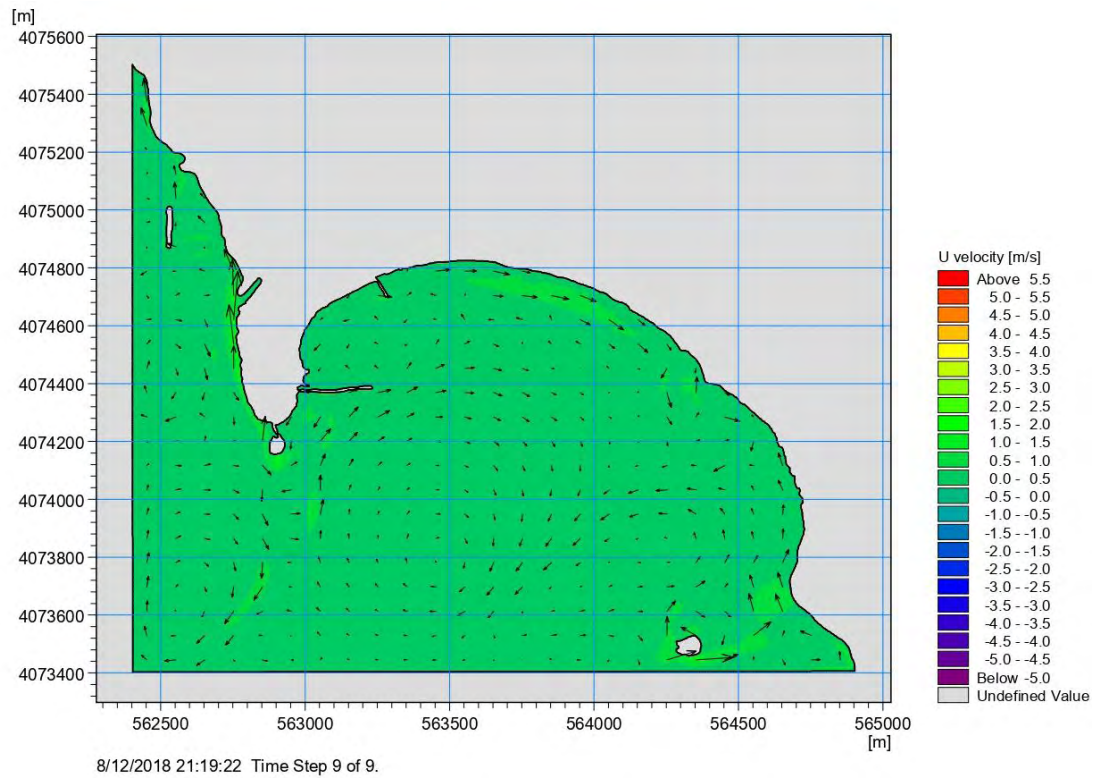
8/12/2018 21:19:22 Time Step 9 of 9.

Σχήμα 5.1. 11 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και y για Νότιο άνεμο 5 BF

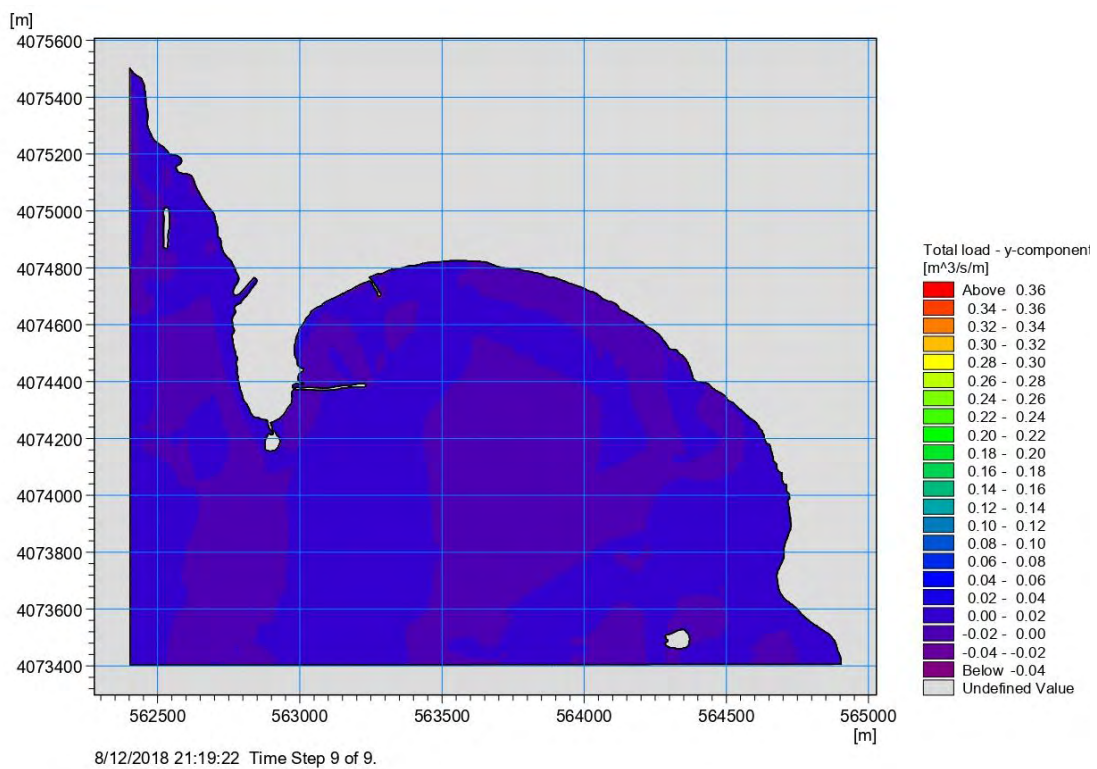
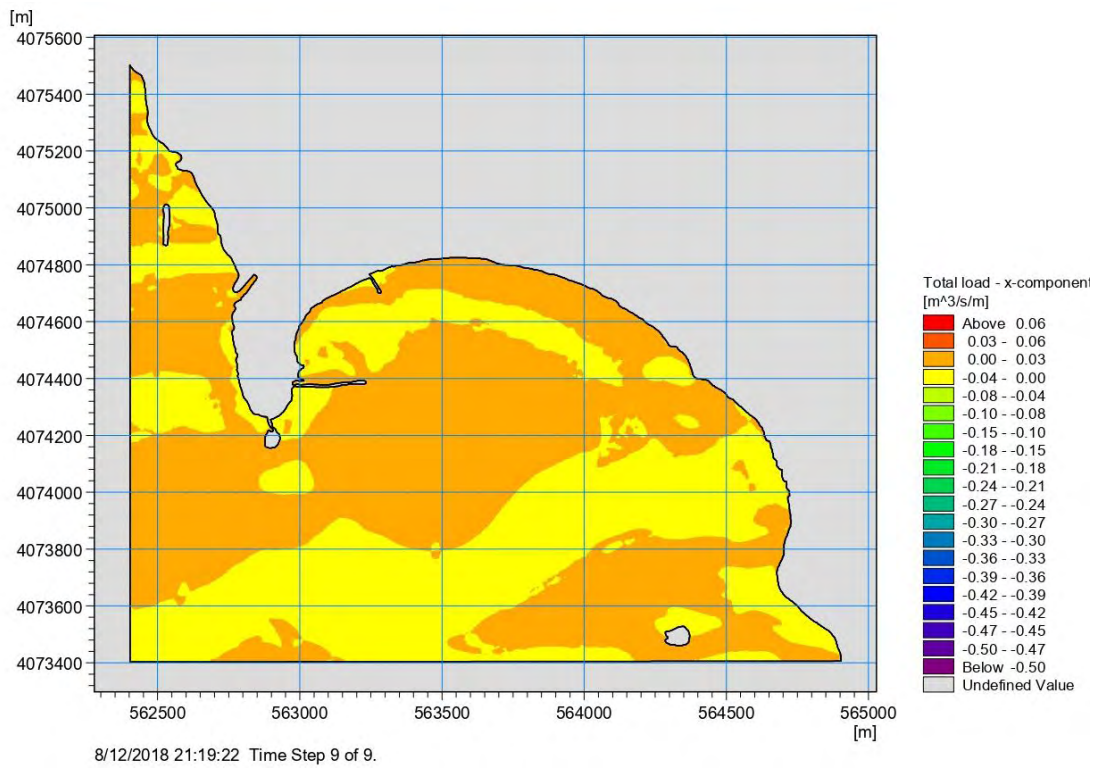


Σχήμα 5.1. 12 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νότιο άνεμο 5 BF

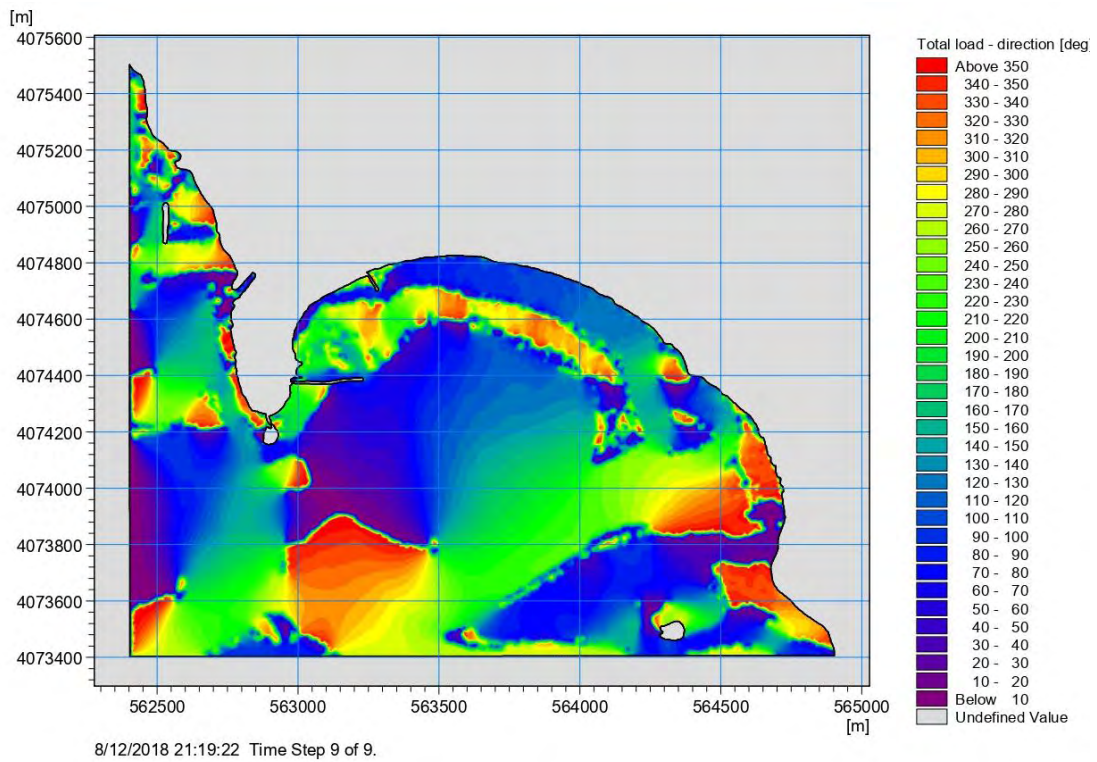
5.1.1.3 Αποτελέσματα για Νότιο άνεμο έντασης 6 Μποφόρ



Σχήμα 5.1. 13 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Νότιο άνεμο 6 BF



Σχήμα 5.1. 14 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και γ για Νότιο άνεμο 6 BF

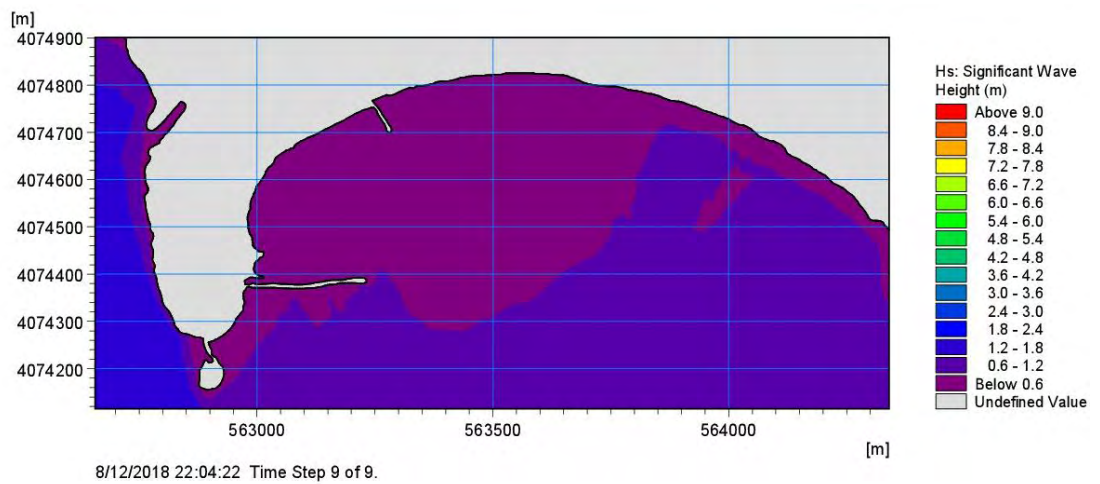
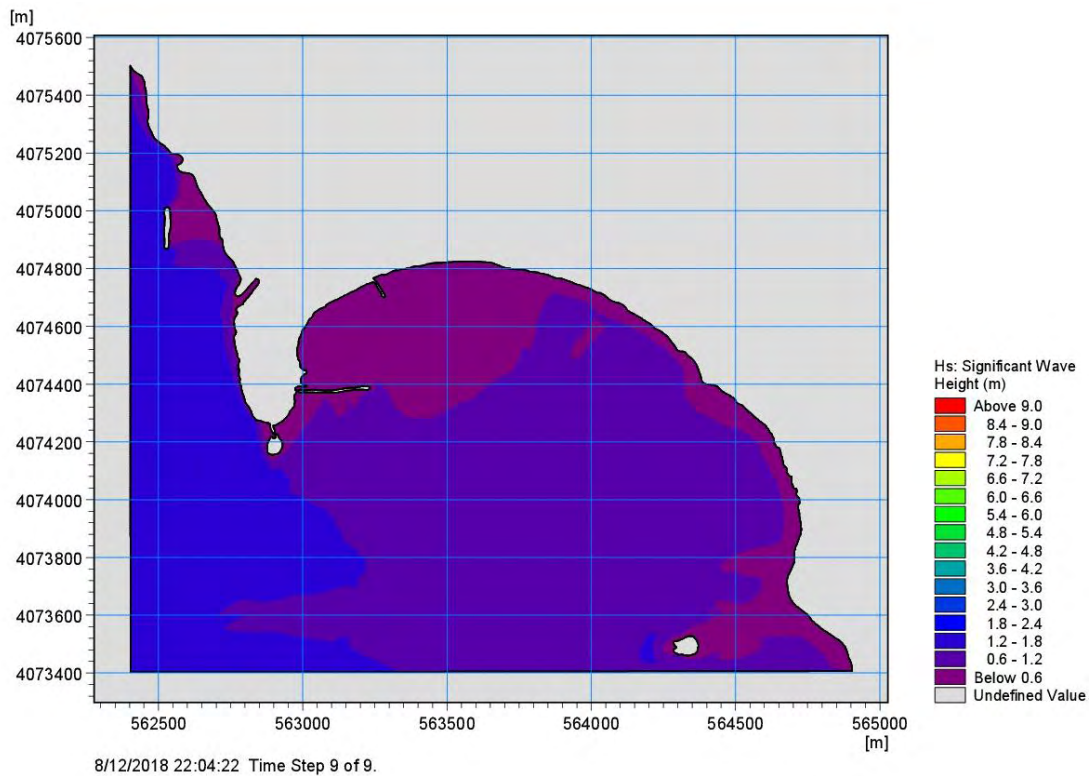


Σχήμα 5.1. 15 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νότιο άνεμο 6 BF

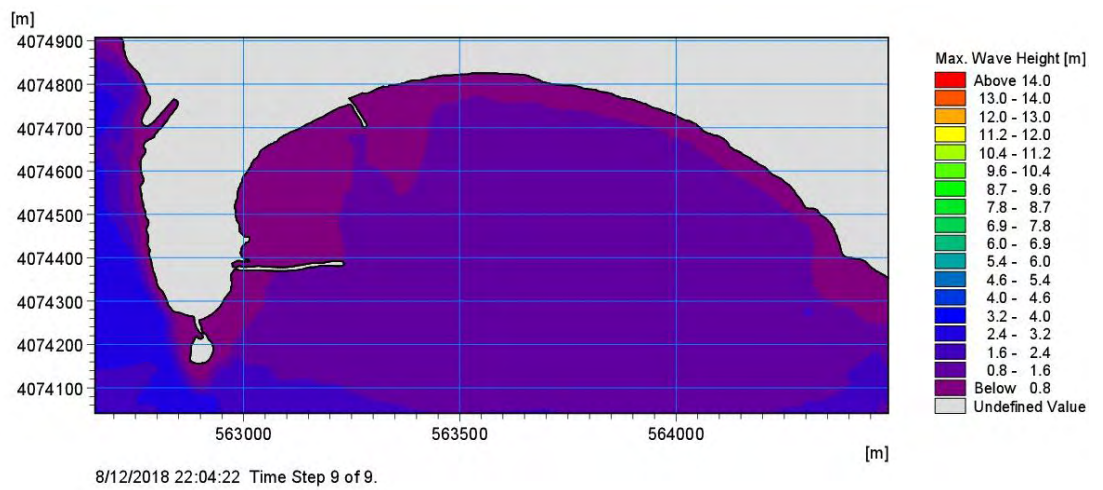
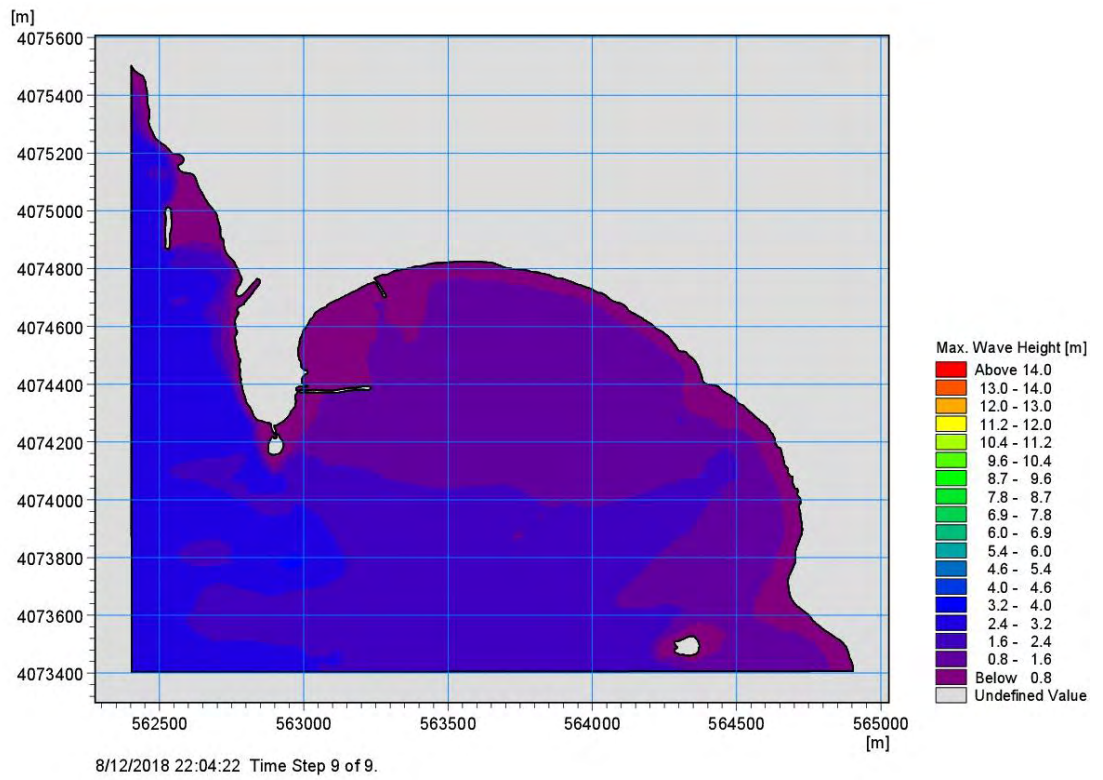
5.1.2 Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο

Όπως προαναφέρθηκε και για τον Νότιο άνεμο, οι κυματισμοί και οι επιδράσεις αυτών στο θαλάσσιο σύστημα, τον πυθμένα και την ακτογραμμή για άνεμο μικρής έντασης παρουσιάζουν παραμέτρους σημαντικά μικρότερης τάξης συγκριτικά με έντονα φαινόμενα ανεμογενών κυματισμών. Για αυτό το λόγο, σε αυτή την ενότητα δε θα αναλυθεί με λεπτομέρεια ο Δυτικός άνεμος για 4 BF, αλλά οι χωρικές κατανομές των παραμέτρων παρουσιάζονται παρακάτω.

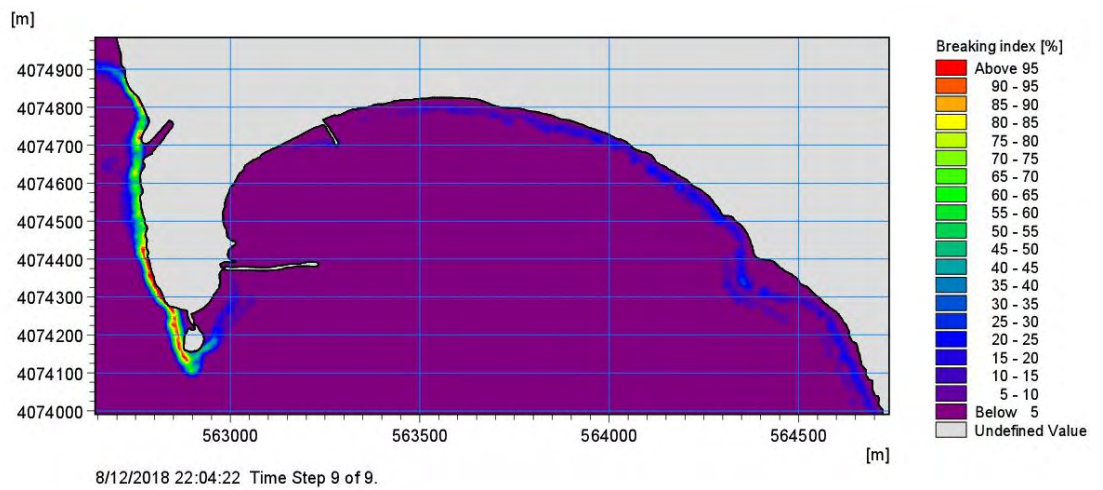
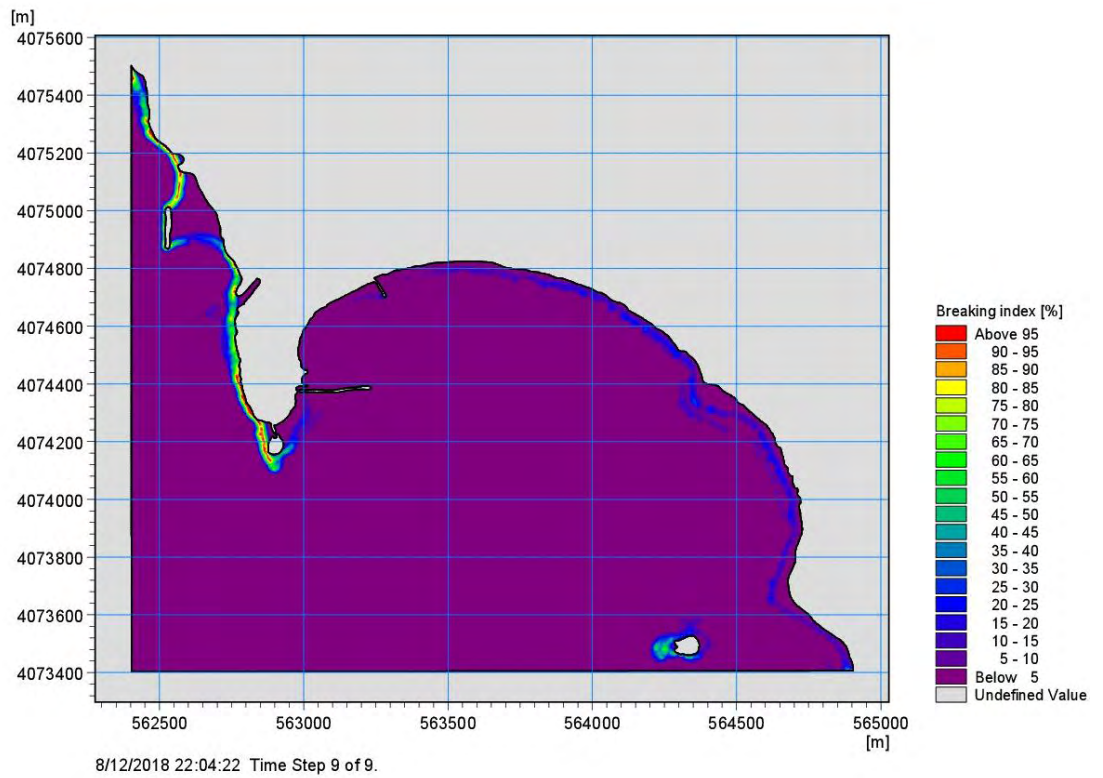
5.1.2.1 Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο έντασης 4 Μποφόρ



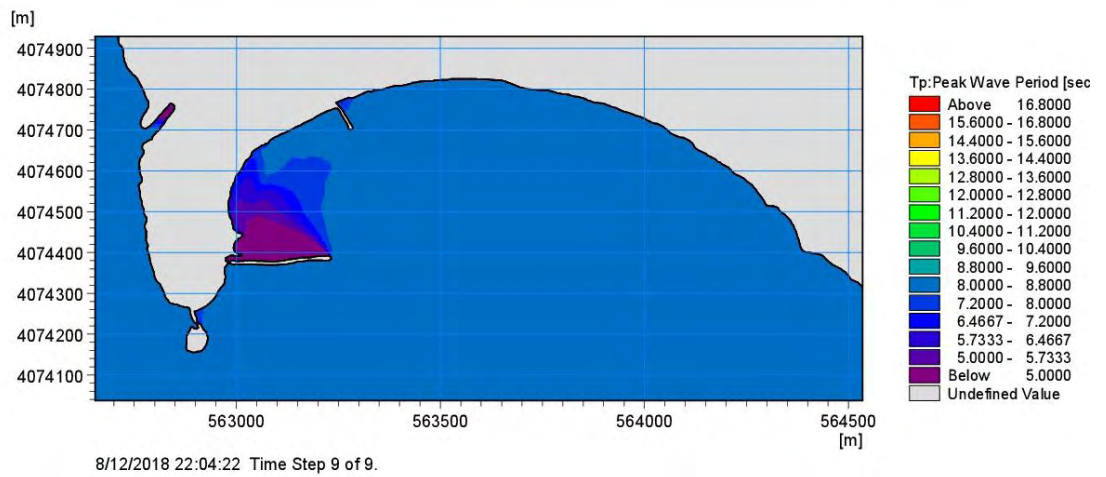
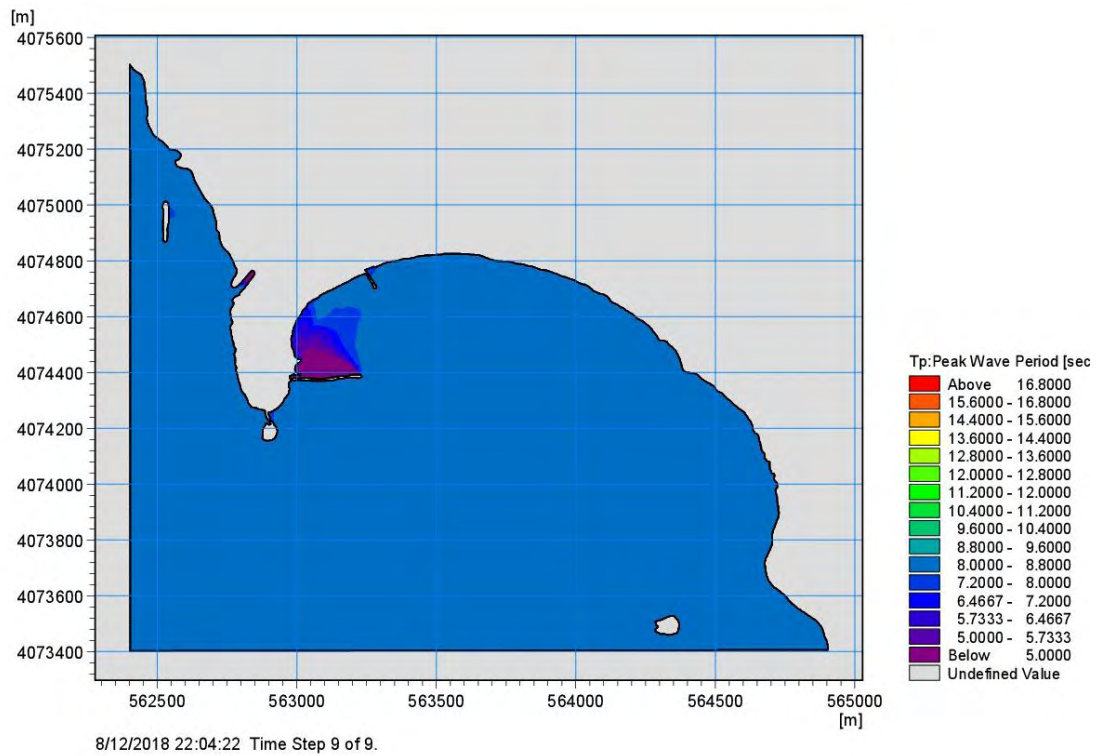
Σχήμα 5.1. 16 Χωρική κατανομή του χαρακτηριστικού ύψους κύματος για Δυτικό άνεμο 4 BF



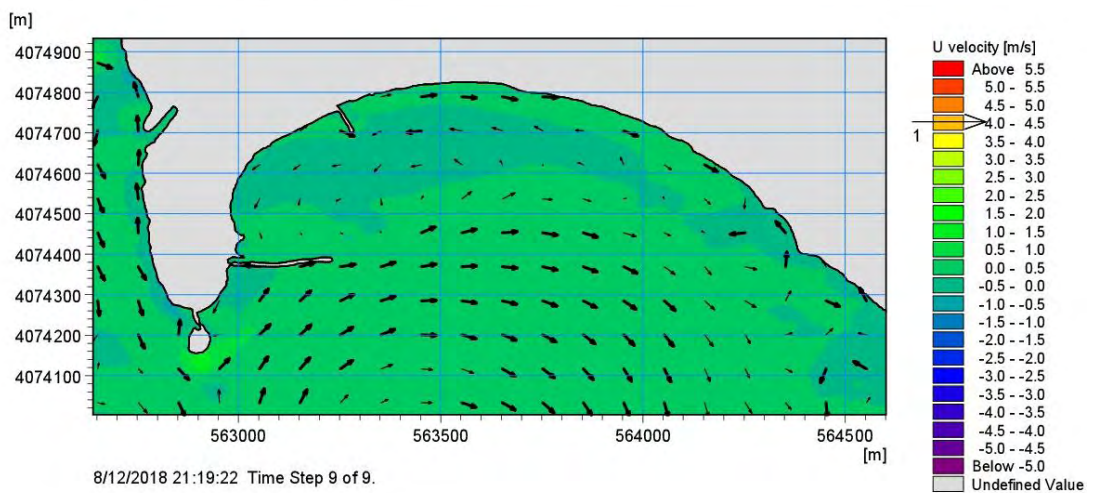
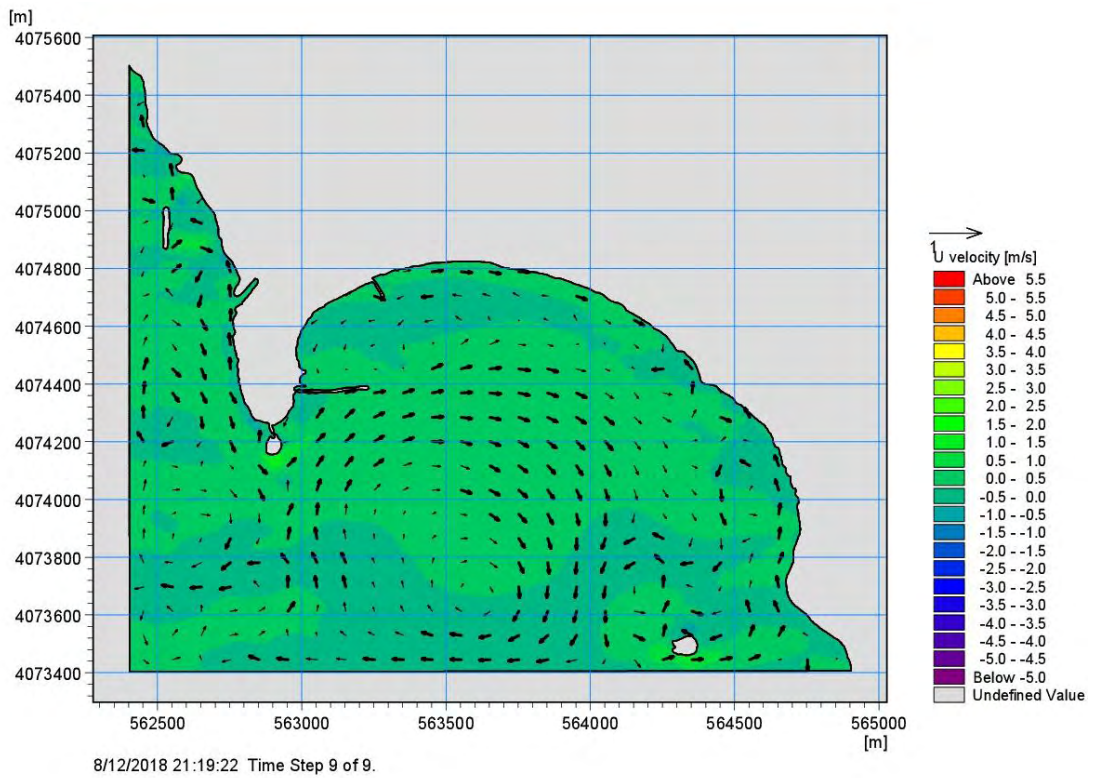
Σχήμα 5.1. 17 Χωρική κατανομή μέγιστου ύψους κύματος για Δυτικό άνεμο 4 BF



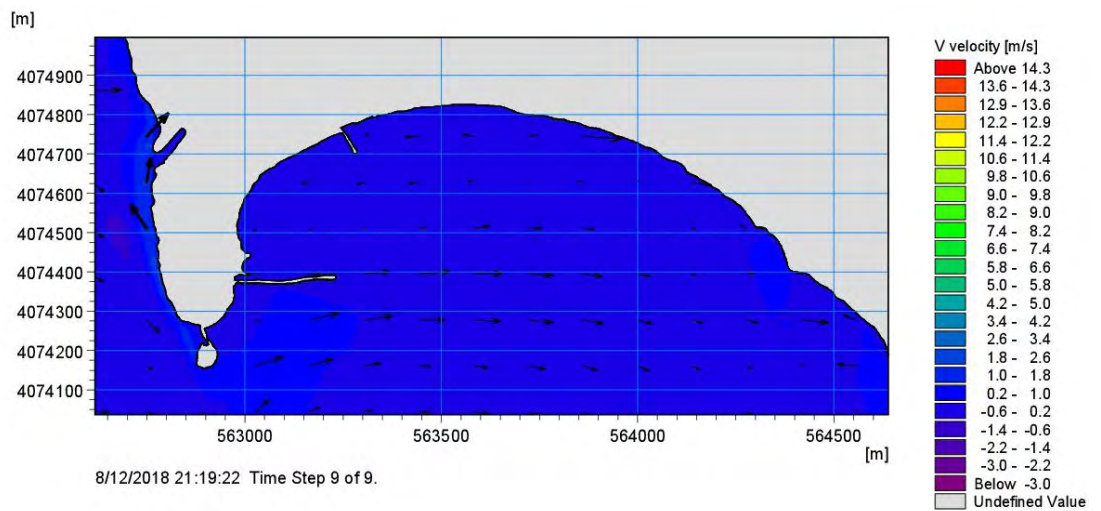
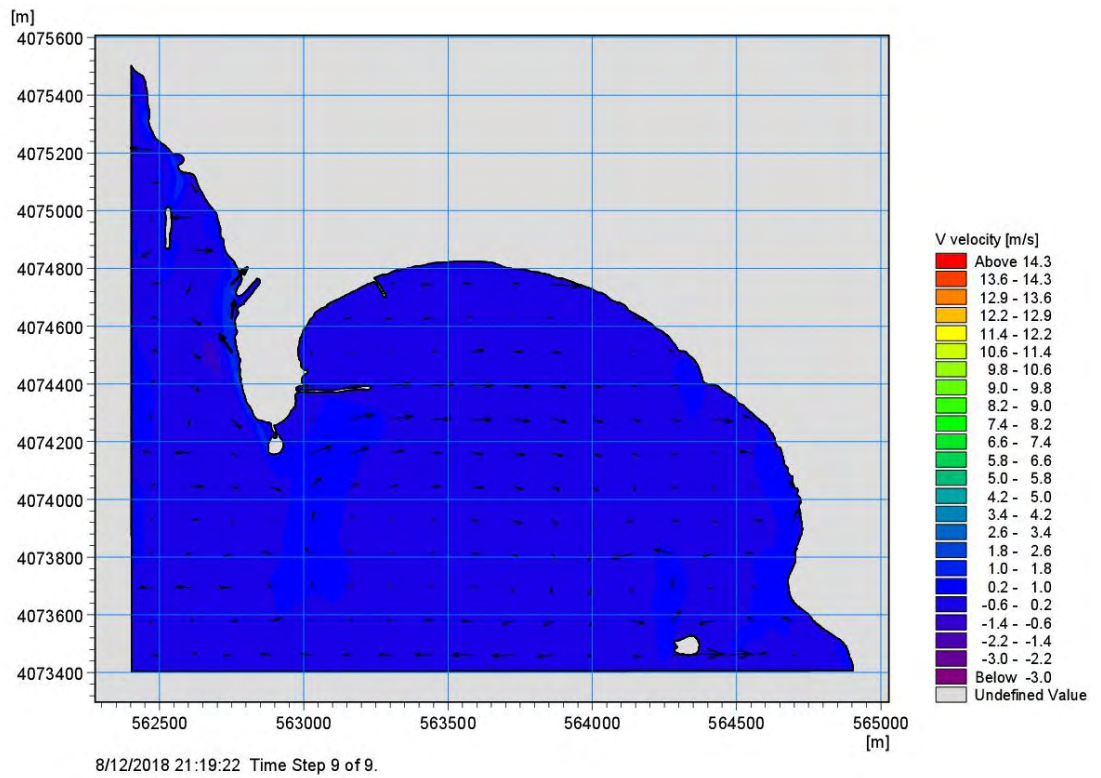
Σχήμα 5.1. 18 Χωρική κατανομή του δείκτη θραύσης για Δυτικό άνεμο 4 BF



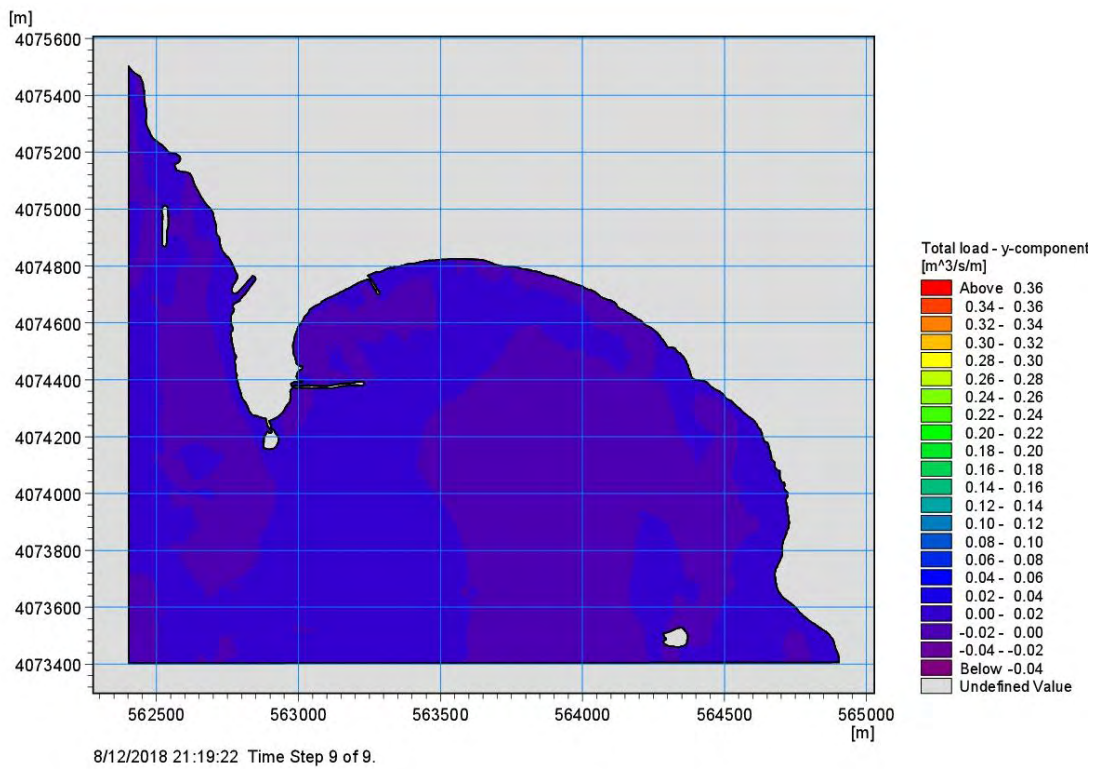
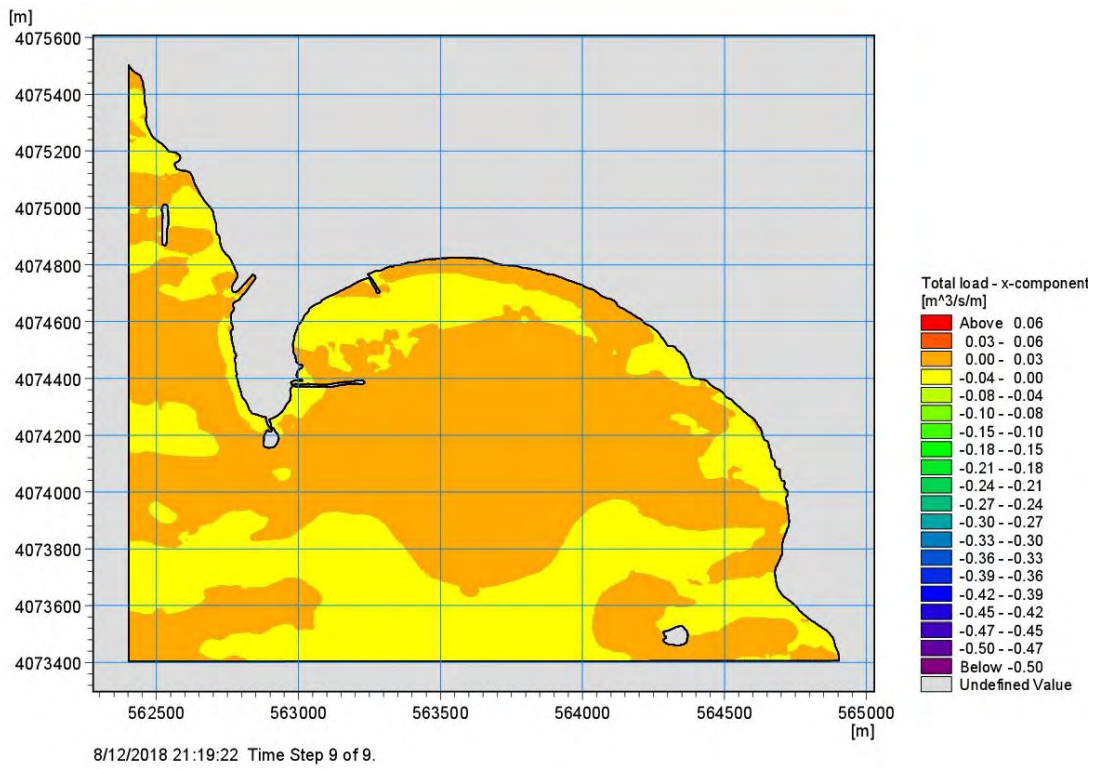
Σχήμα 5.1. 19 Χωρική κατανομή της περιόδου αιχμής για Δυτικό άνεμο 4 BF



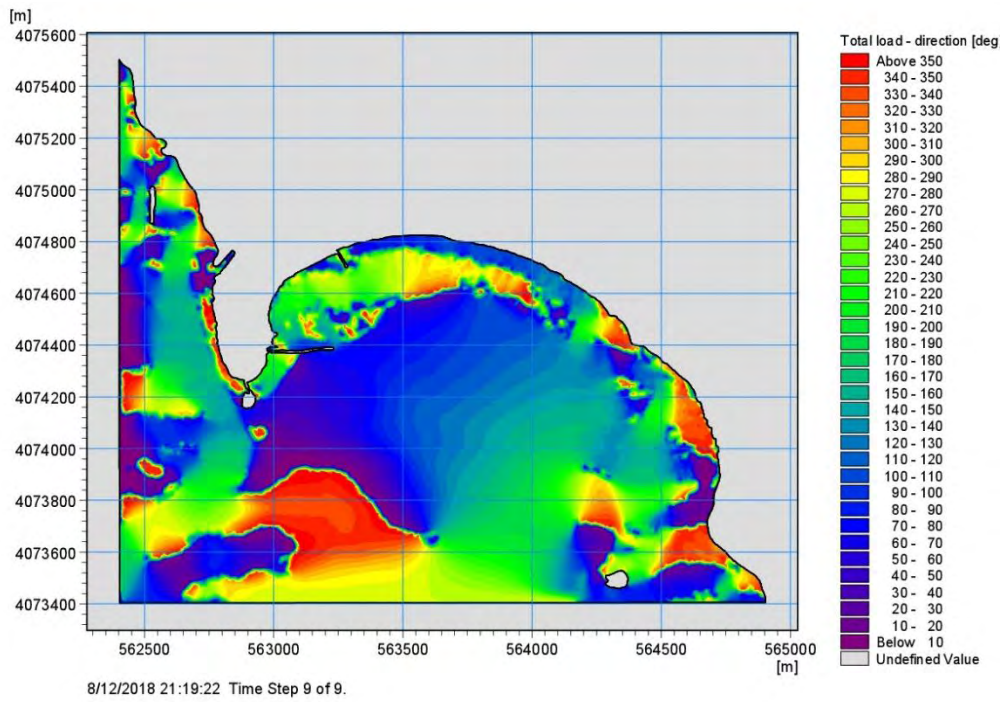
Σχήμα 5.1. 20 Χωρική κατανομή της ταχύτητας κατά χ για Δυτικό άνεμο 4 BF



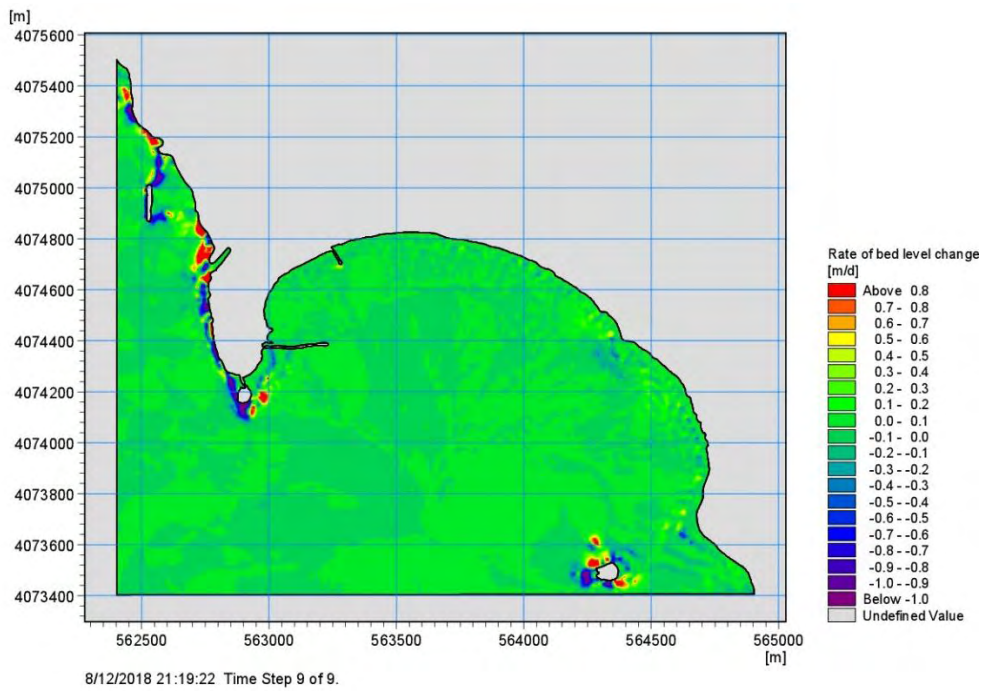
Σχήμα 5.1. 21 Χωρική κατανομή της ταχύτητας κατά y για Δυτικό άνεμο 4 BF



Σχήμα 5.1. 22 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά x και y για Δυτικό άνεμο 4 BF

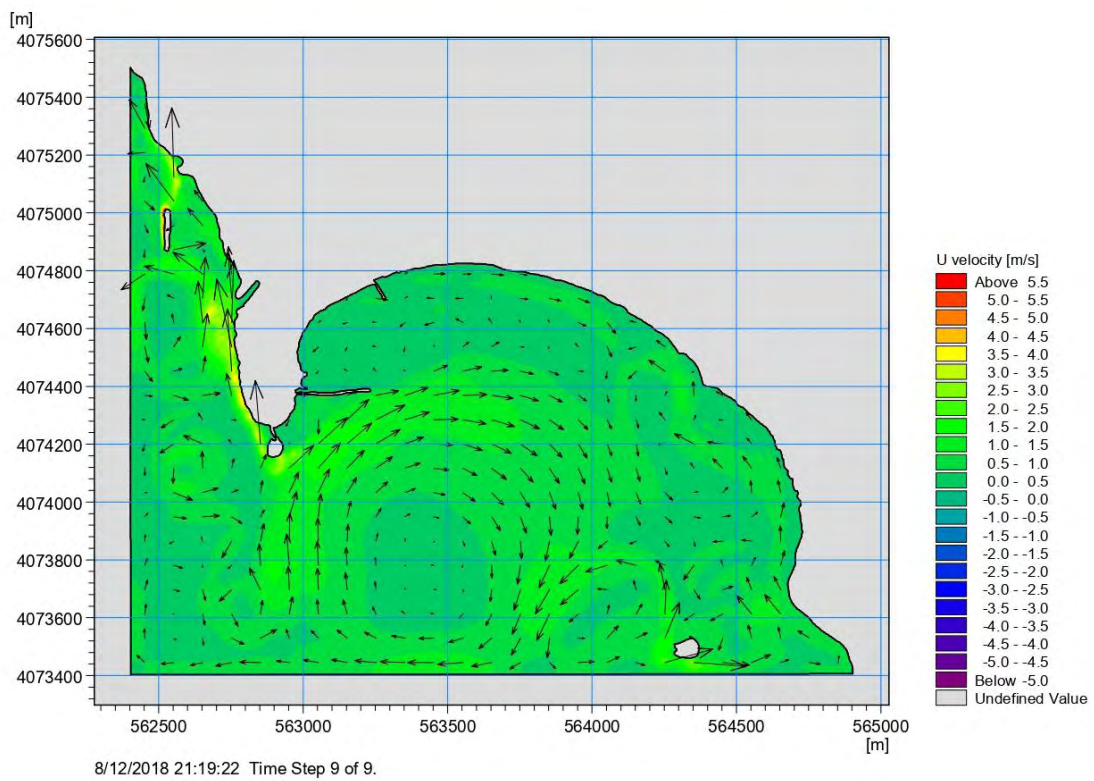


Σχήμα 5.1. 23 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Δυτικό άνεμο 4 BF

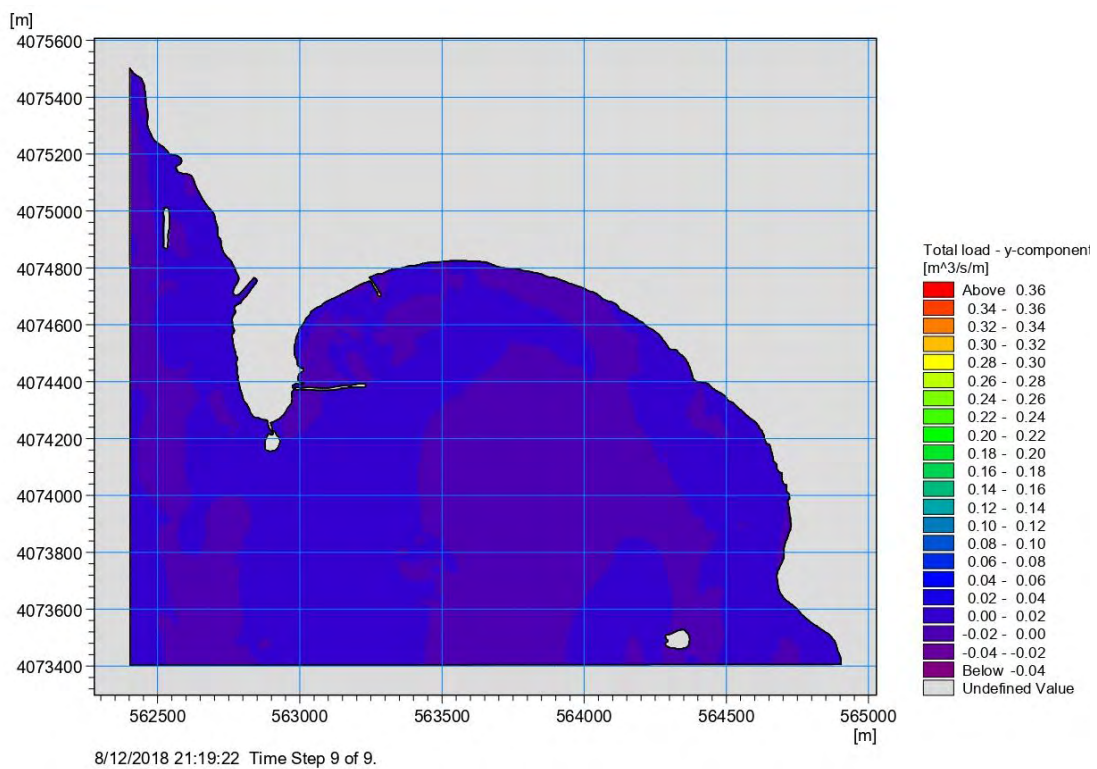
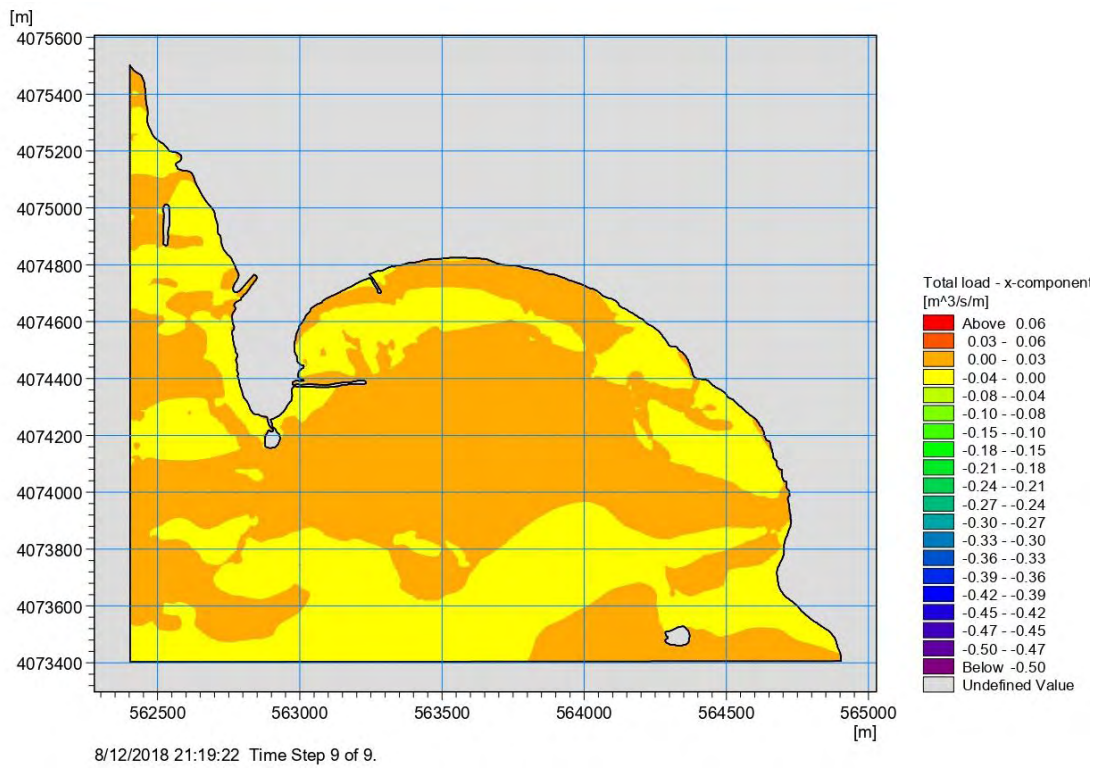


Σχήμα 5.1. 24 Χωρική κατανομή του ρυθμού αλλαγής της στάθμης του πυθμένα για Δυτικό άνεμο 4 BF

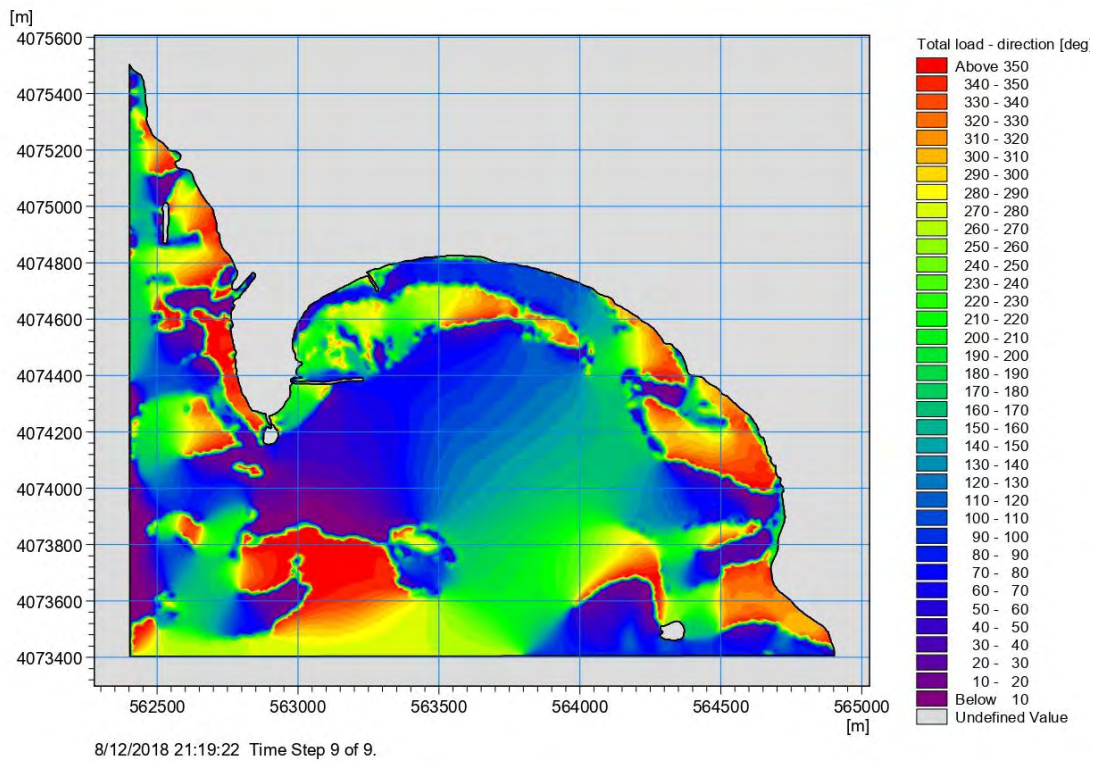
5.1.2.2 Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο έντασης 5 Μποφόρ



Σχήμα 5.1. 25 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Δυτικό άνεμο 5 BF

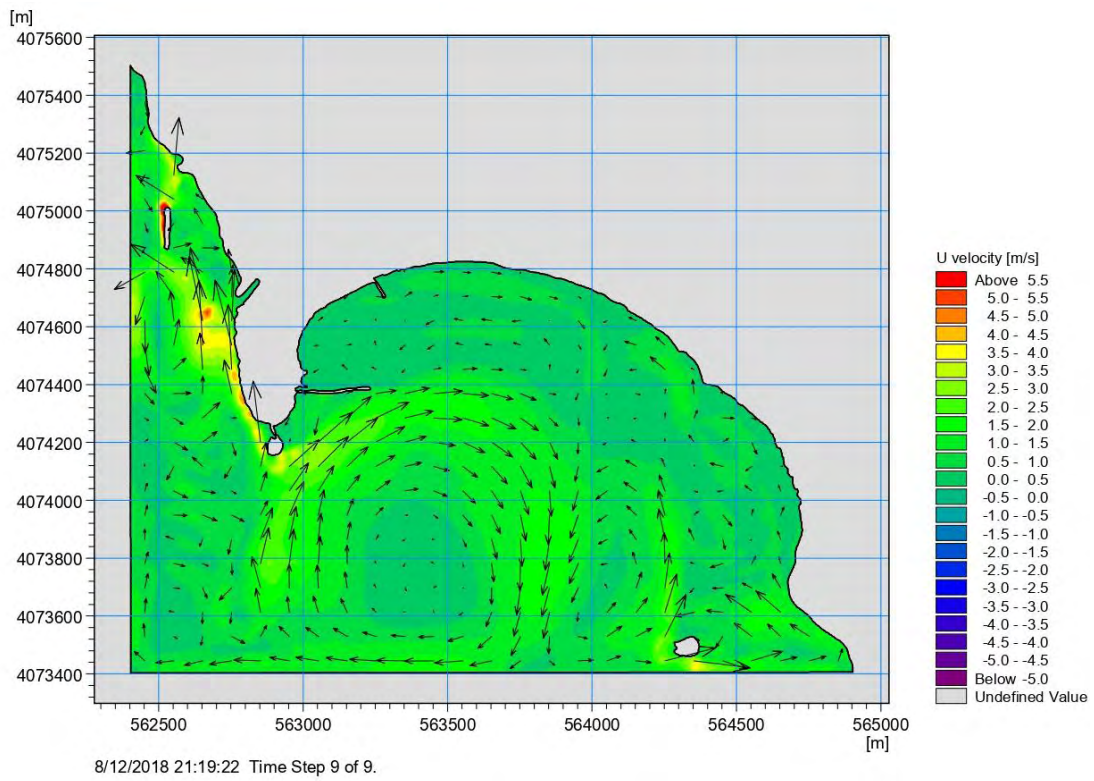


Σχήμα 5.1. 26 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά x και y για Δυτικό άνεμο 5 BF

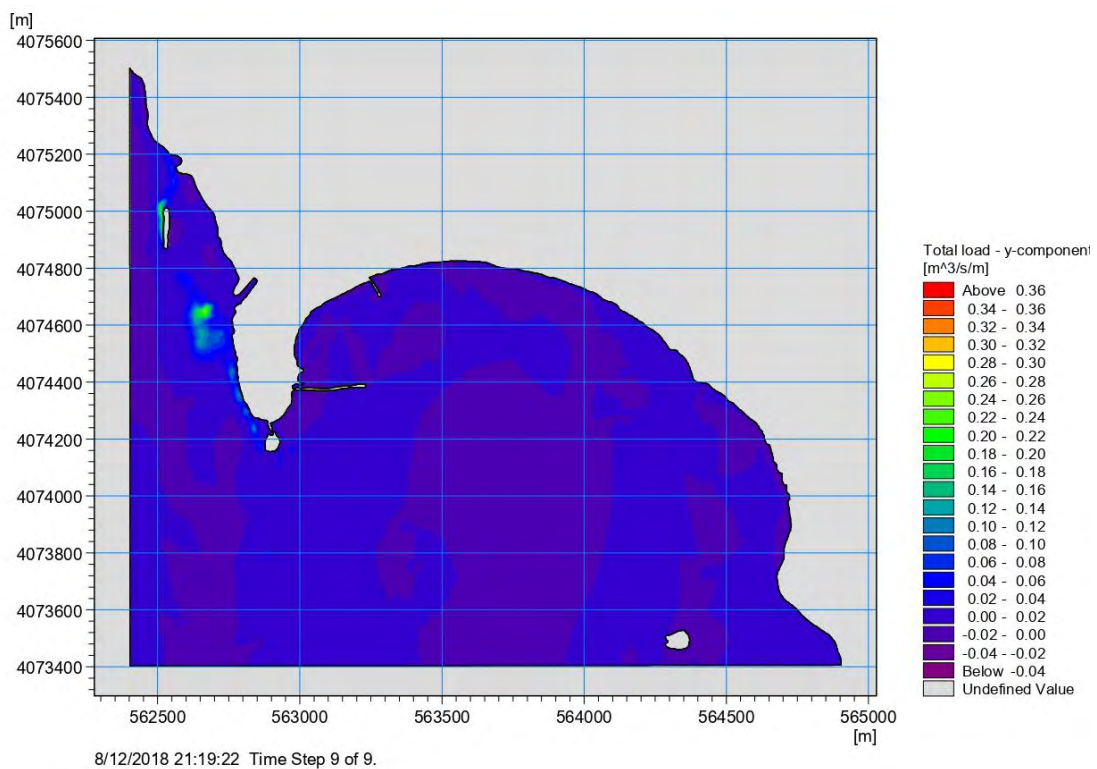
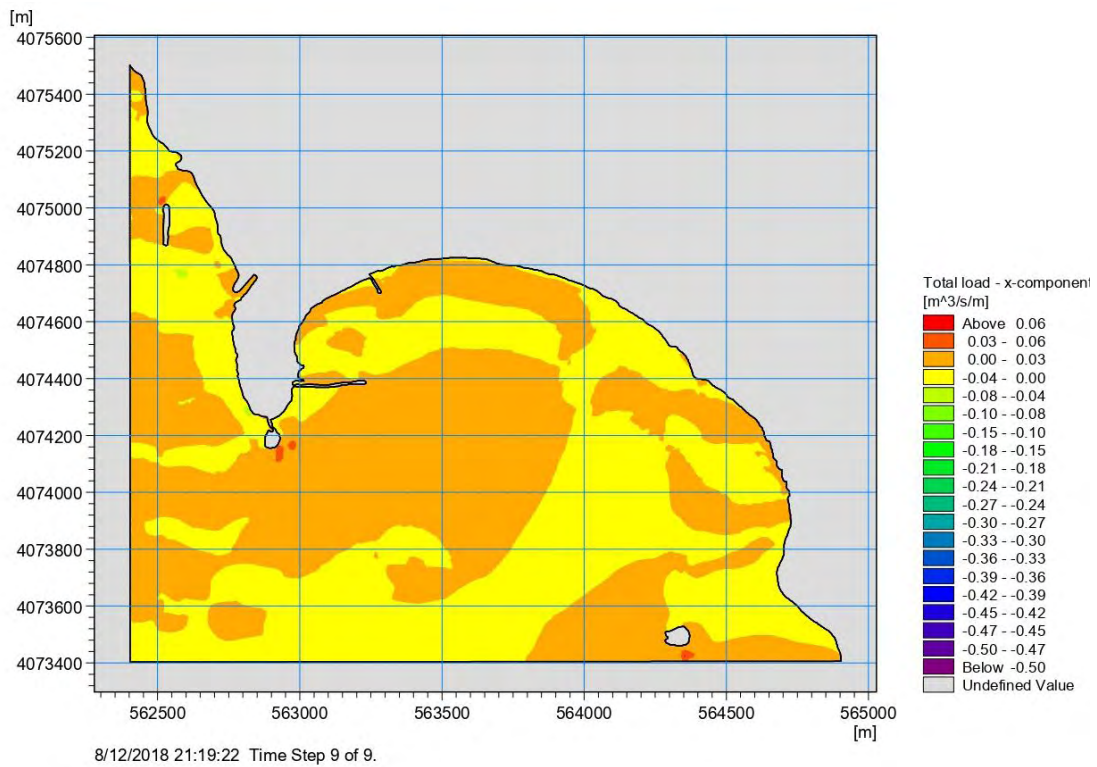


Σχήμα 5.1. 27 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Δυτικό άνεμο 5 BF

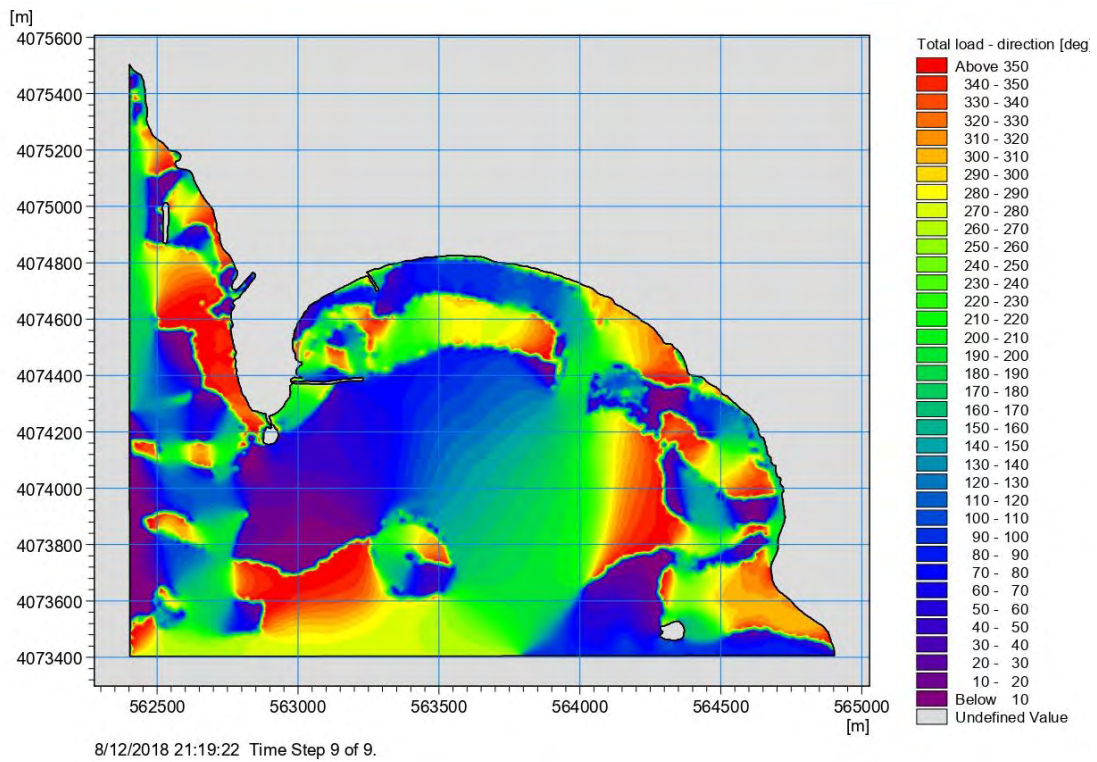
5.1.2.4 Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο έντασης 6 Μποφόρ



Σχήμα 5.1. 28 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Δυτικό άνεμο 6 BF

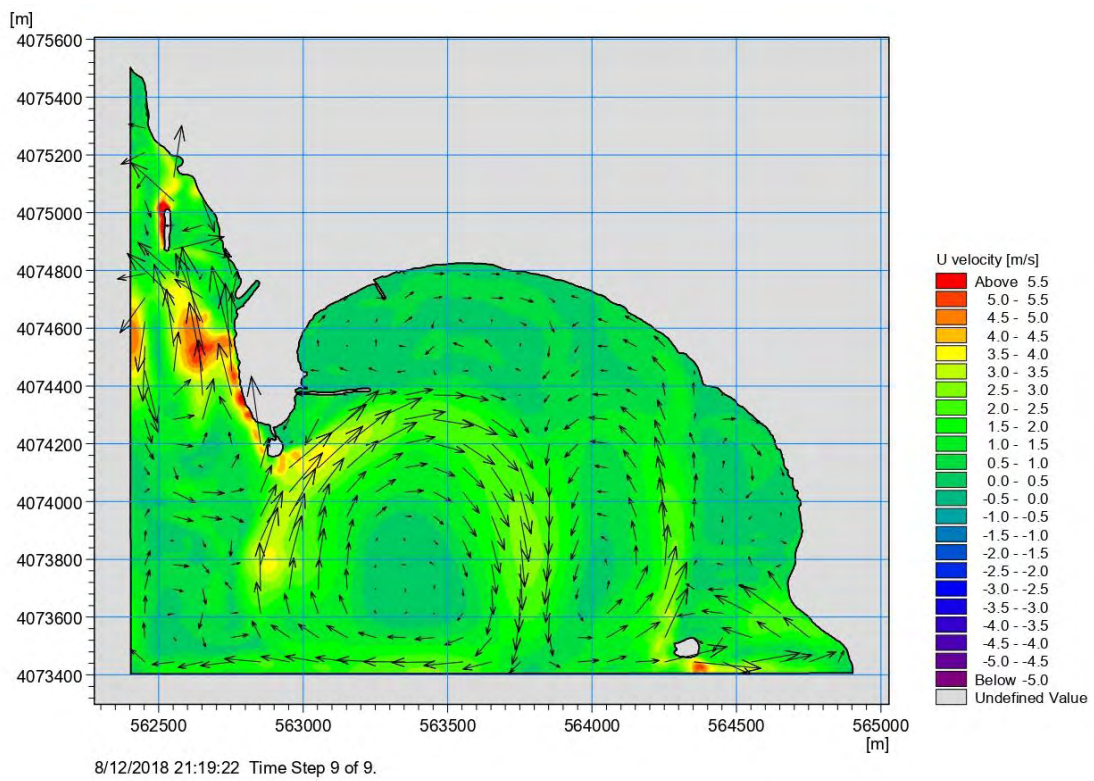


Σχήμα 5.1. 29 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και γ για Δυτικό άνεμο 6 BF

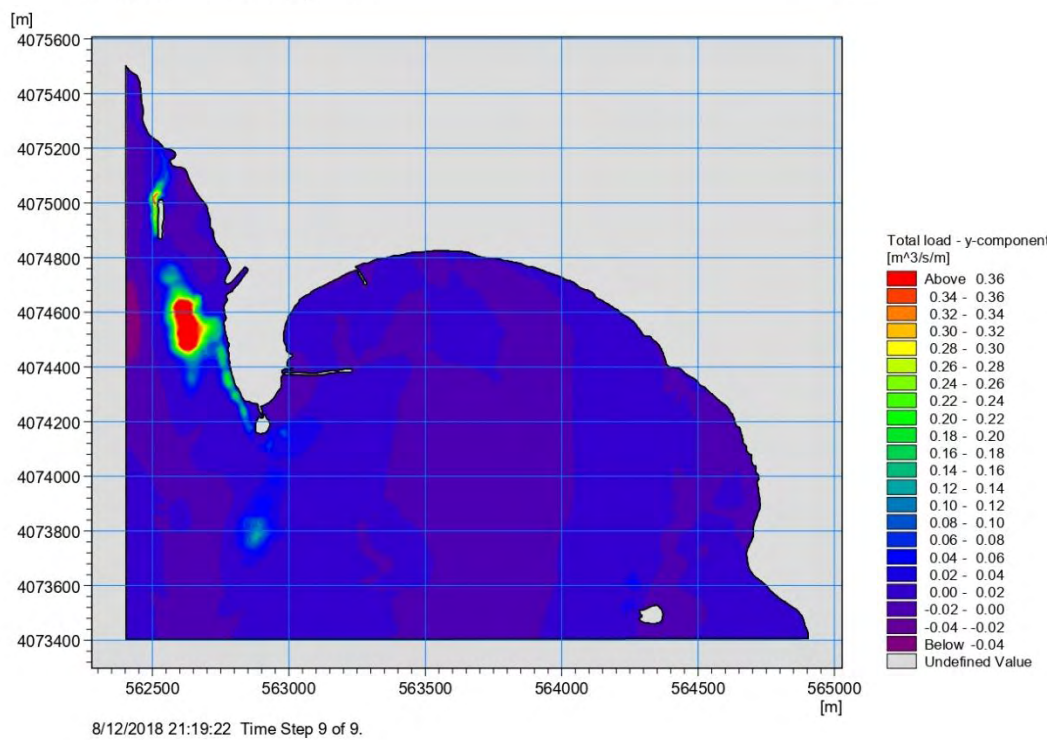
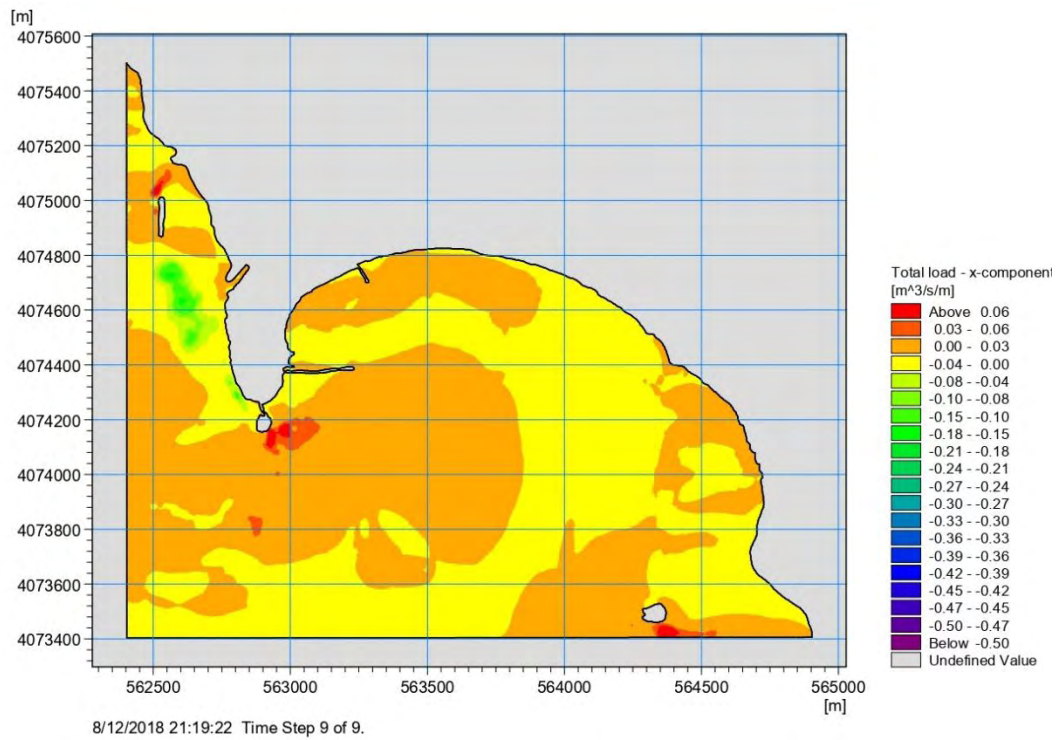


Σχήμα 5.1. 30 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Δυτικό άνεμο 6 BF

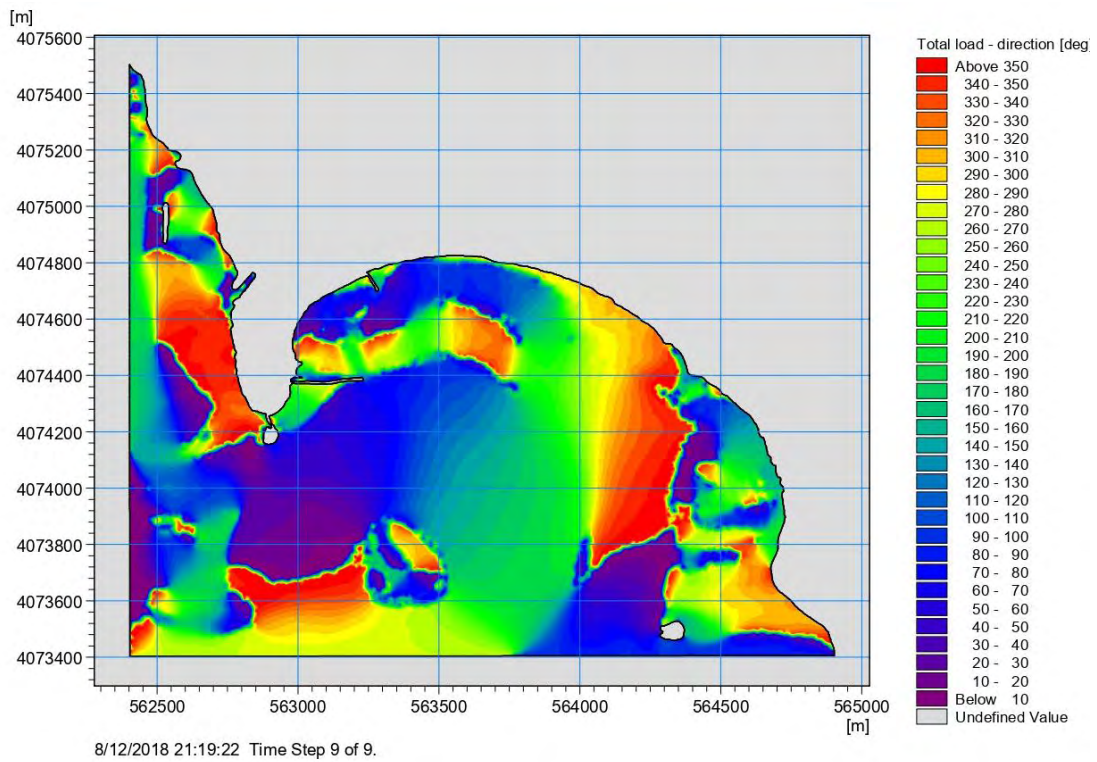
5.1.2.4 Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο έντασης 7 Μποφόρ



Σχήμα 5.1. 31 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Δυτικό άνεμο 7 BF

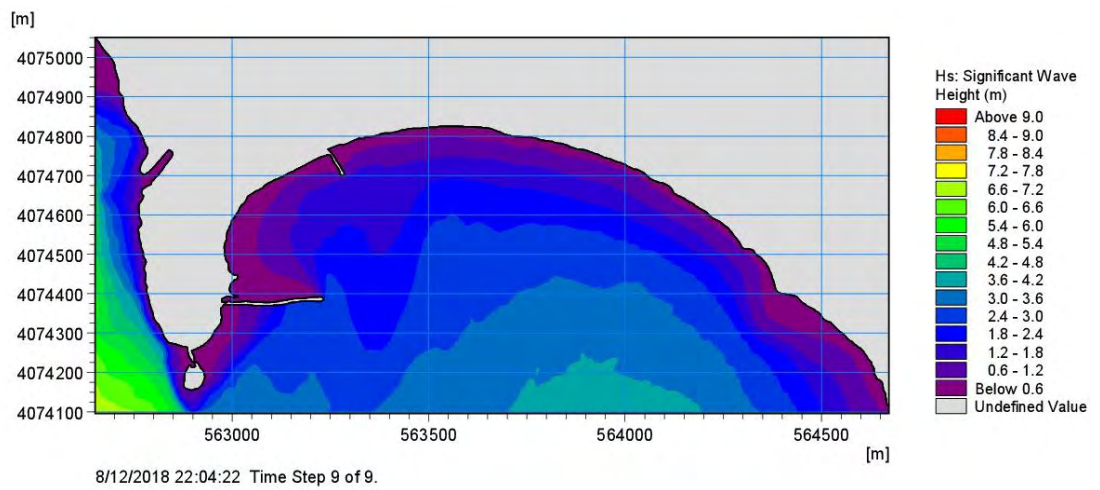
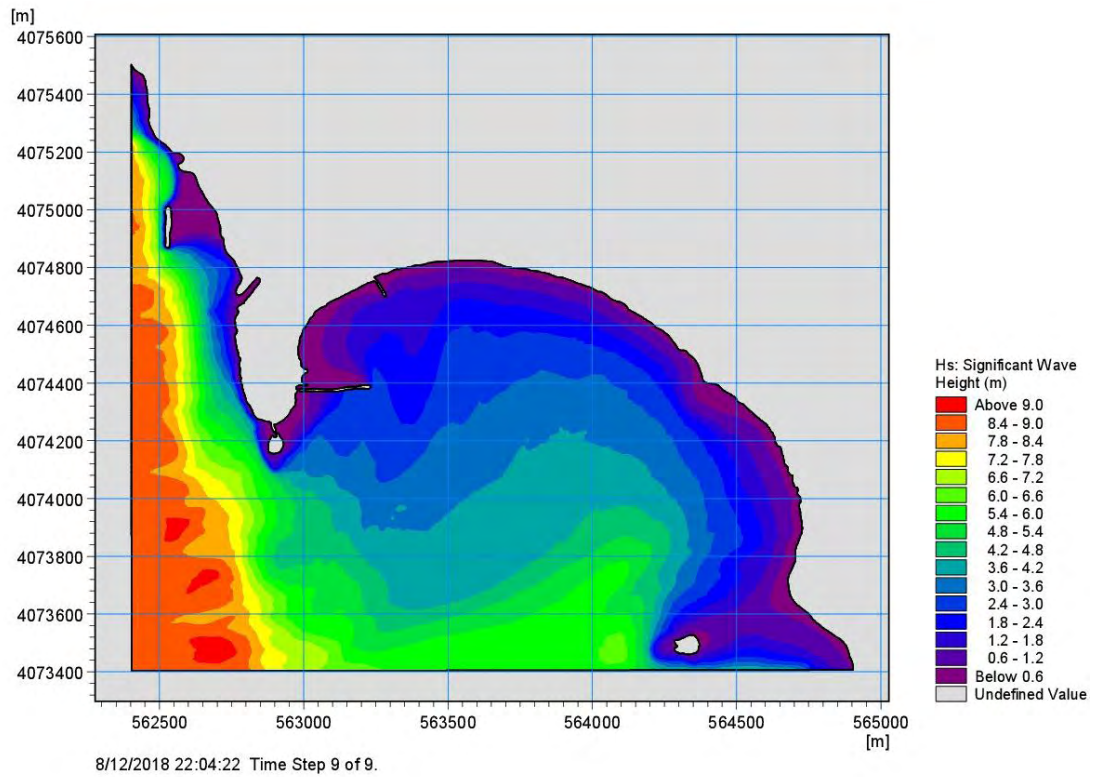


Σχήμα 5.1. 32 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά x και y για Δυτικό άνεμο 7 BF

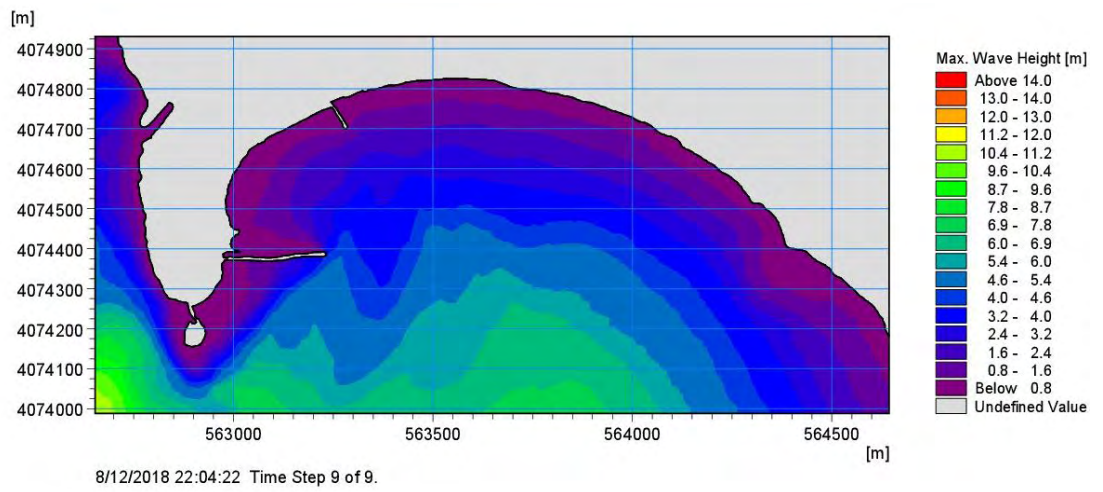
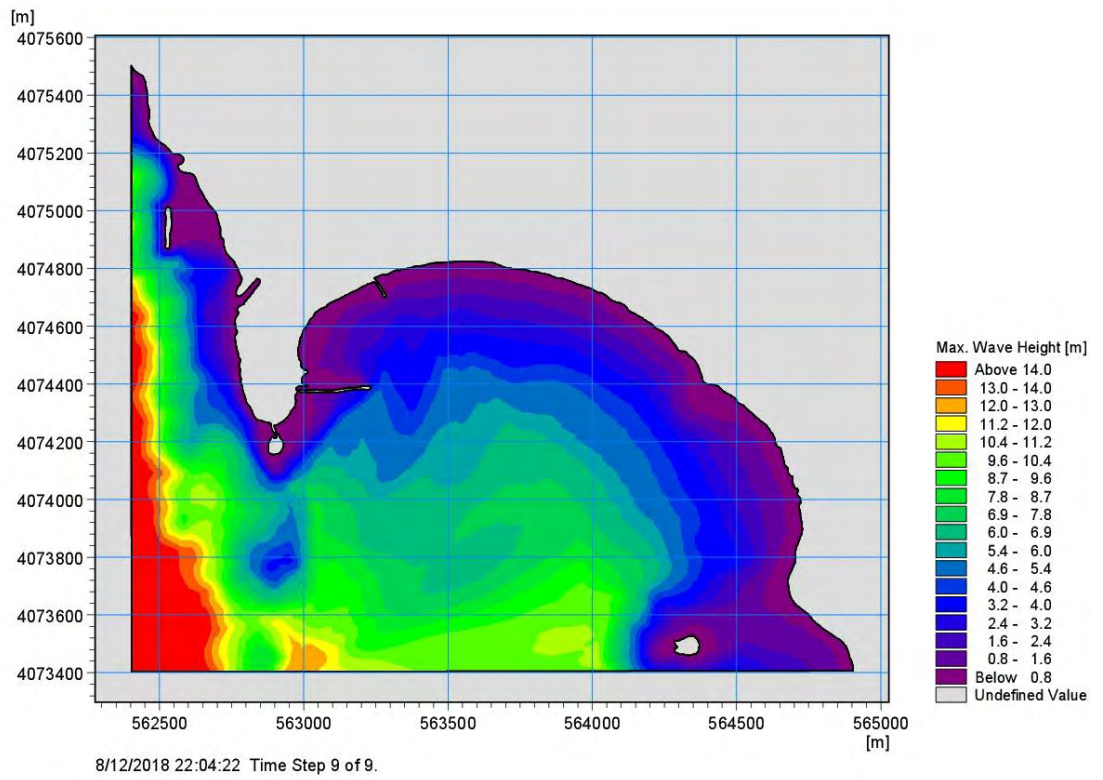


Σχήμα 5.1. 33 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Δυτικό άνεμο 7 BF

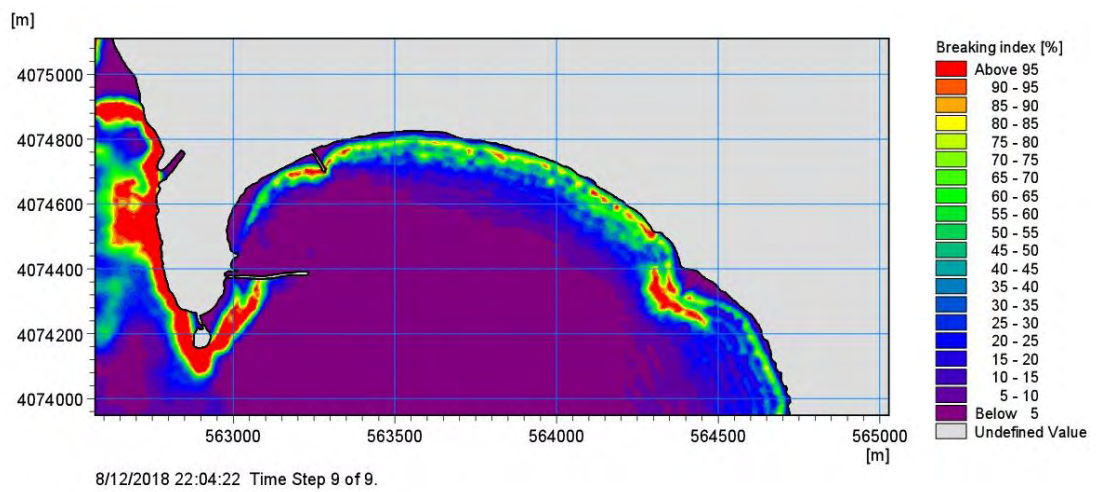
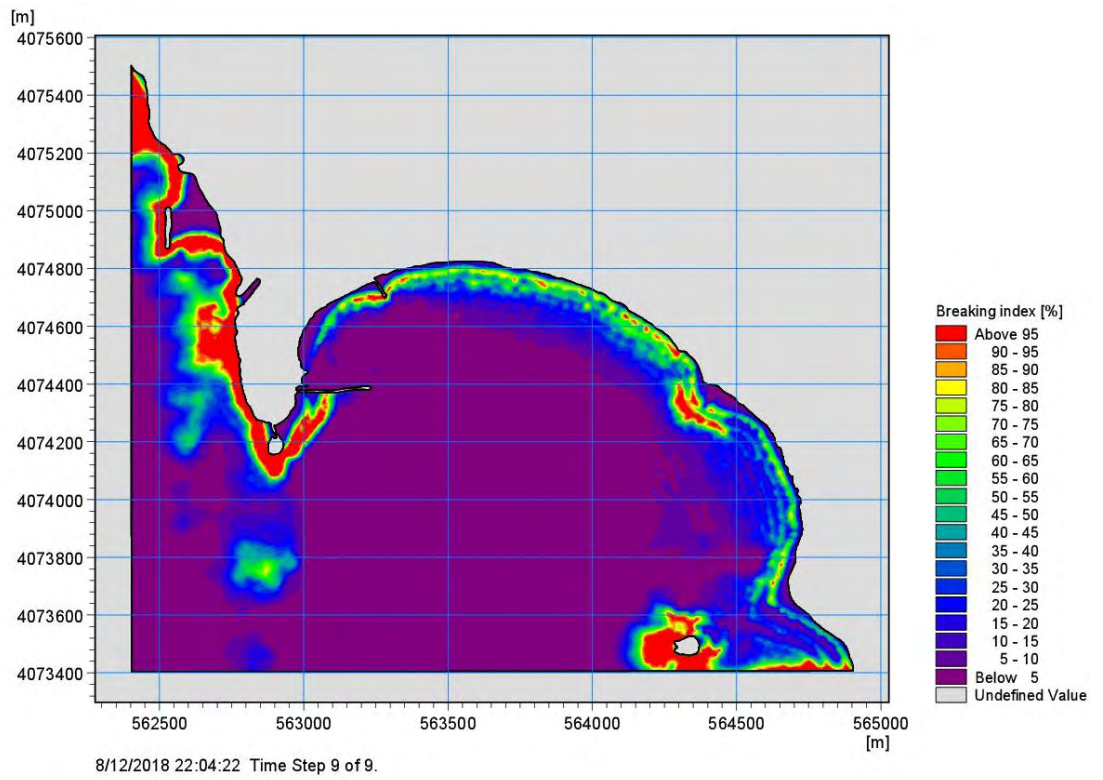
5.1.2.5 Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο έντασης 8 Μποφόρ



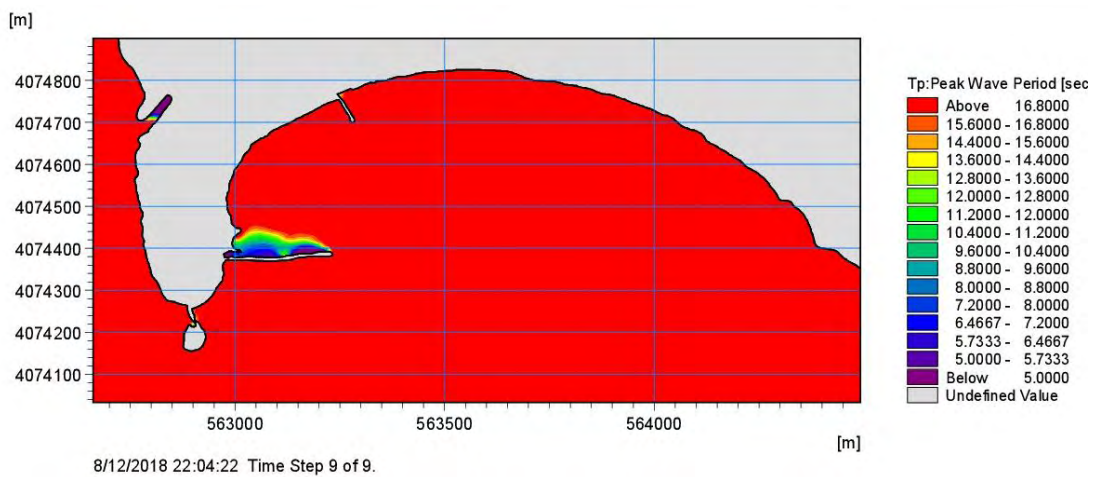
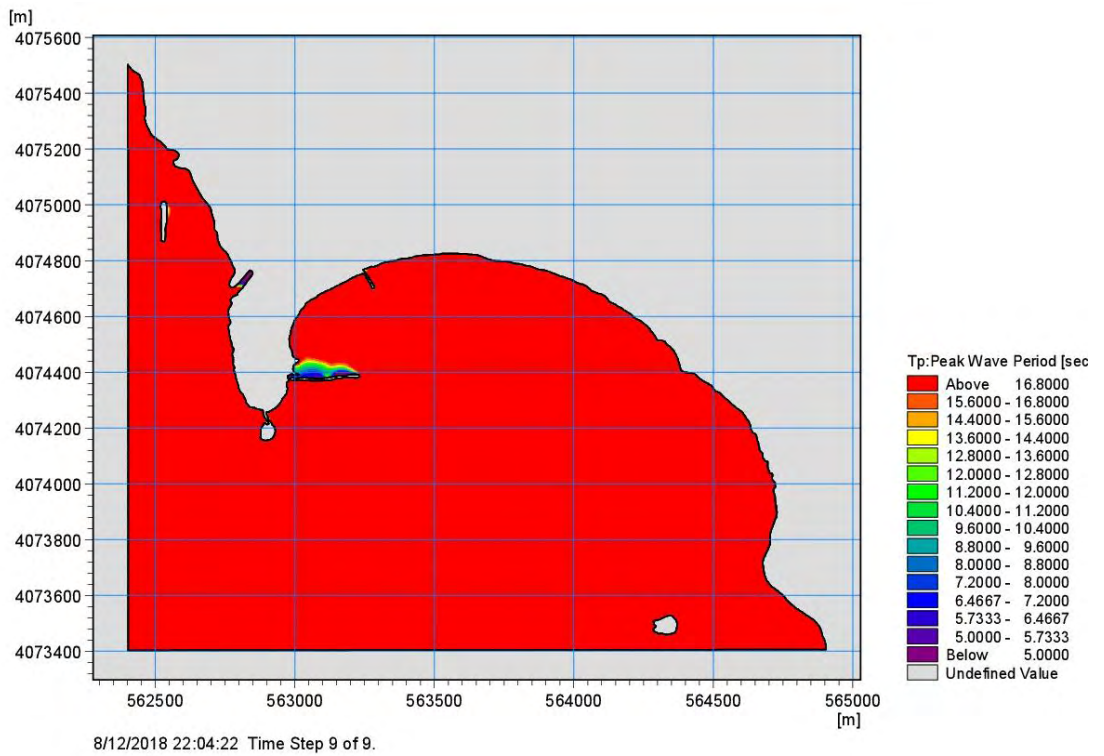
Σχήμα 5.1. 34 Χωρική κατανομή του χαρακτηριστικού ύψους κύματος για Δυτικό άνεμο 8 BF



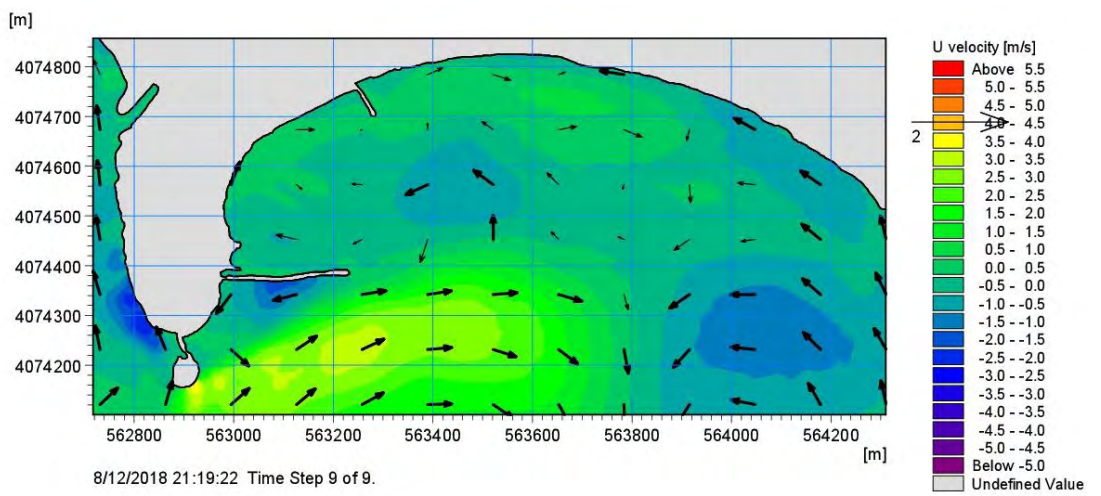
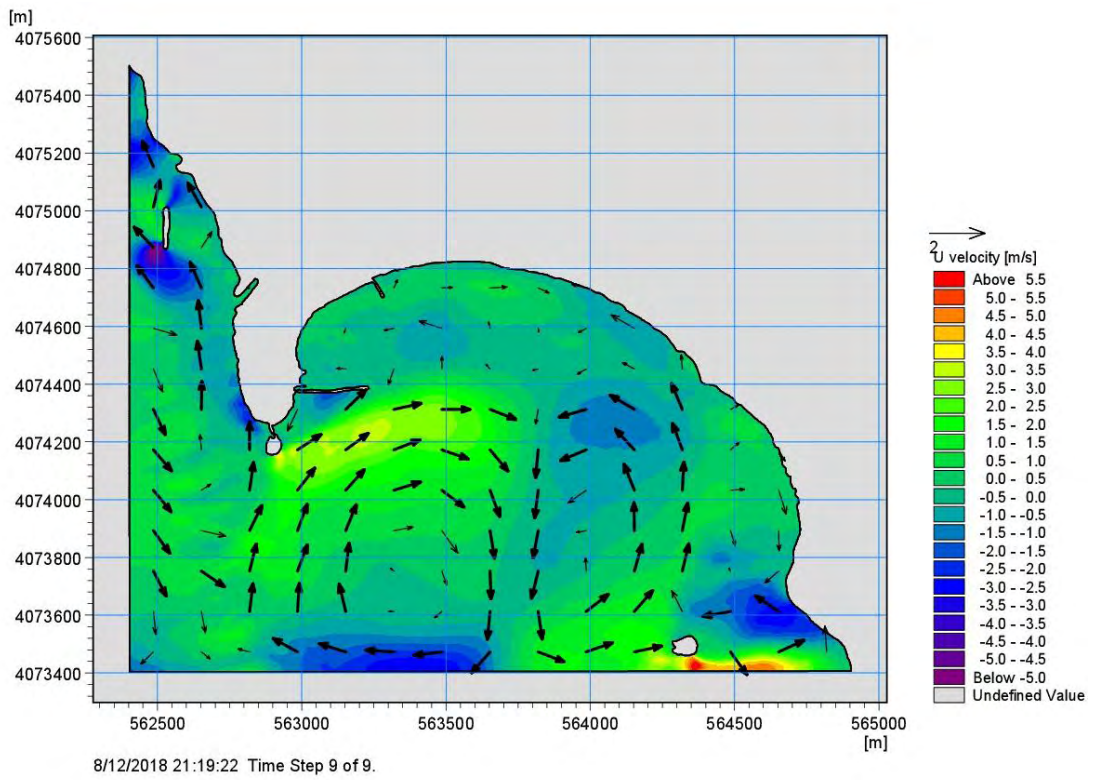
Σχήμα 5.1. 35 Χωρική κατανομή μέγιστου ύψους κύματος για Δυτικό άνεμο 8 BF



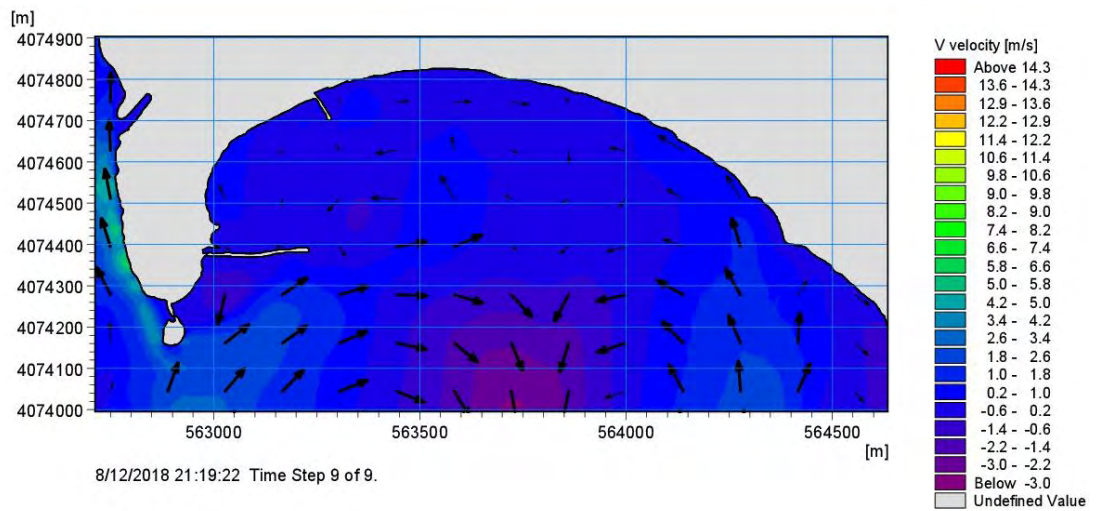
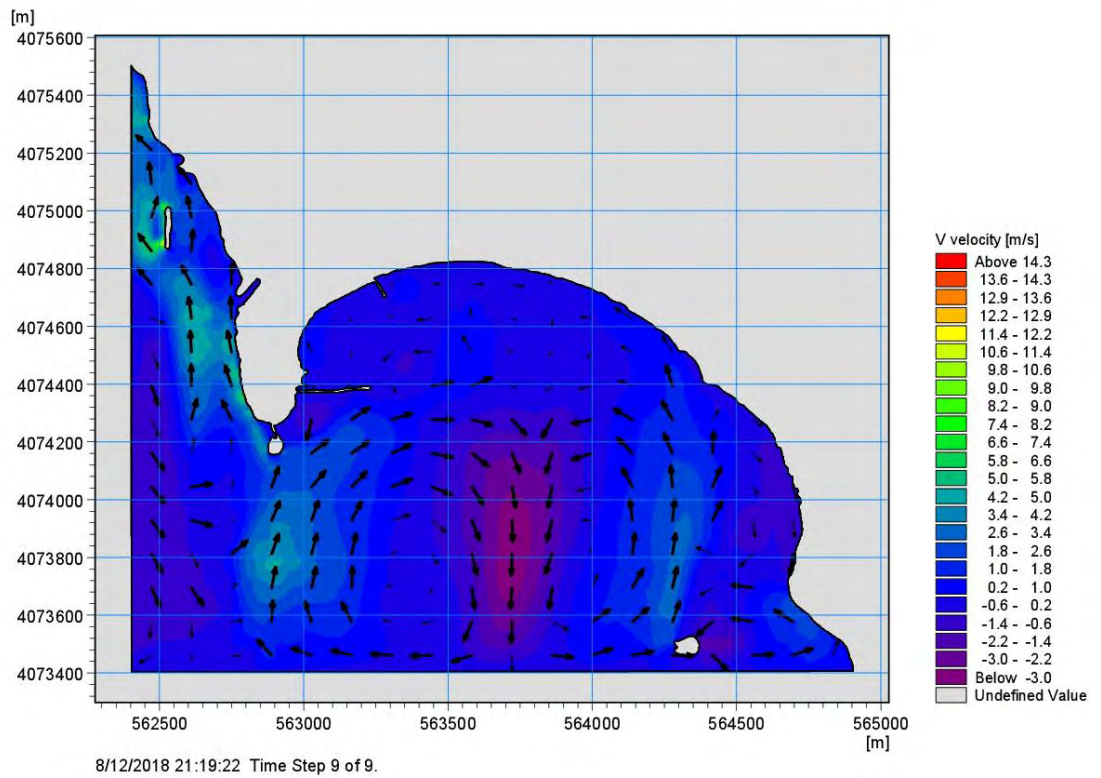
Σχήμα 5.1. 36 Χωρική κατανομή του δείκτη θραύσης για Δυτικό άνεμο 8 BF



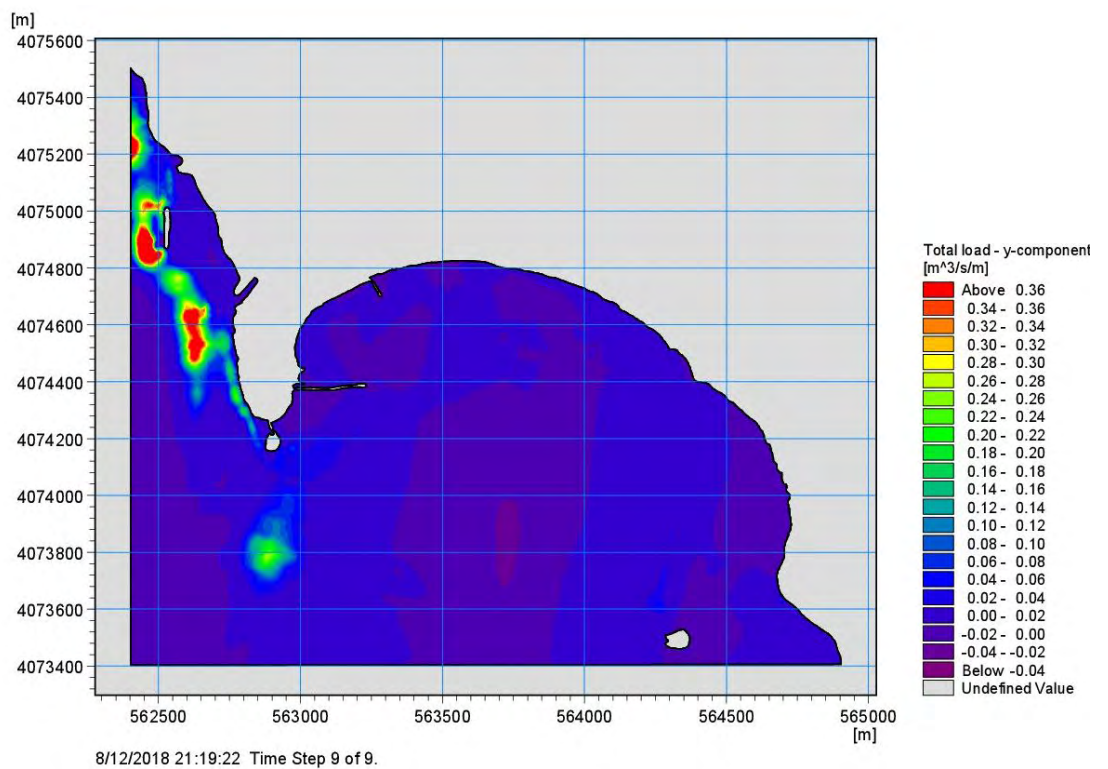
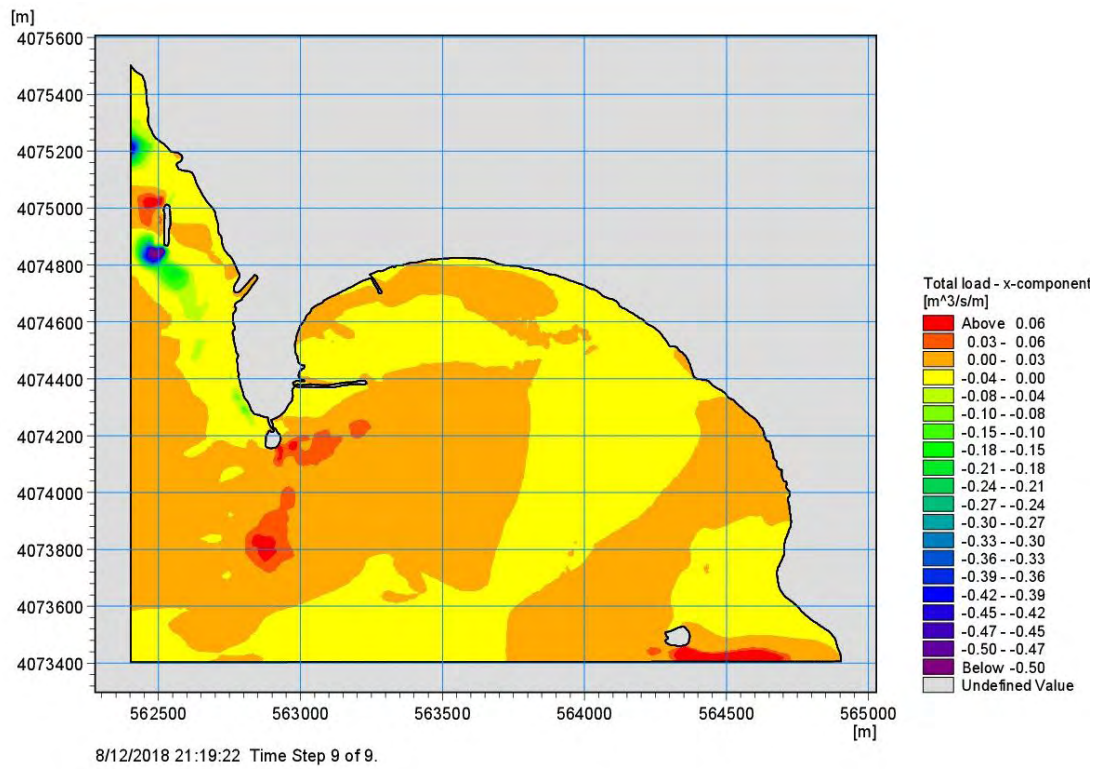
Σχήμα 5.1. 37 Χωρική κατανομή της περιόδου αιχμής για Δυτικό άνεμο 8 BF



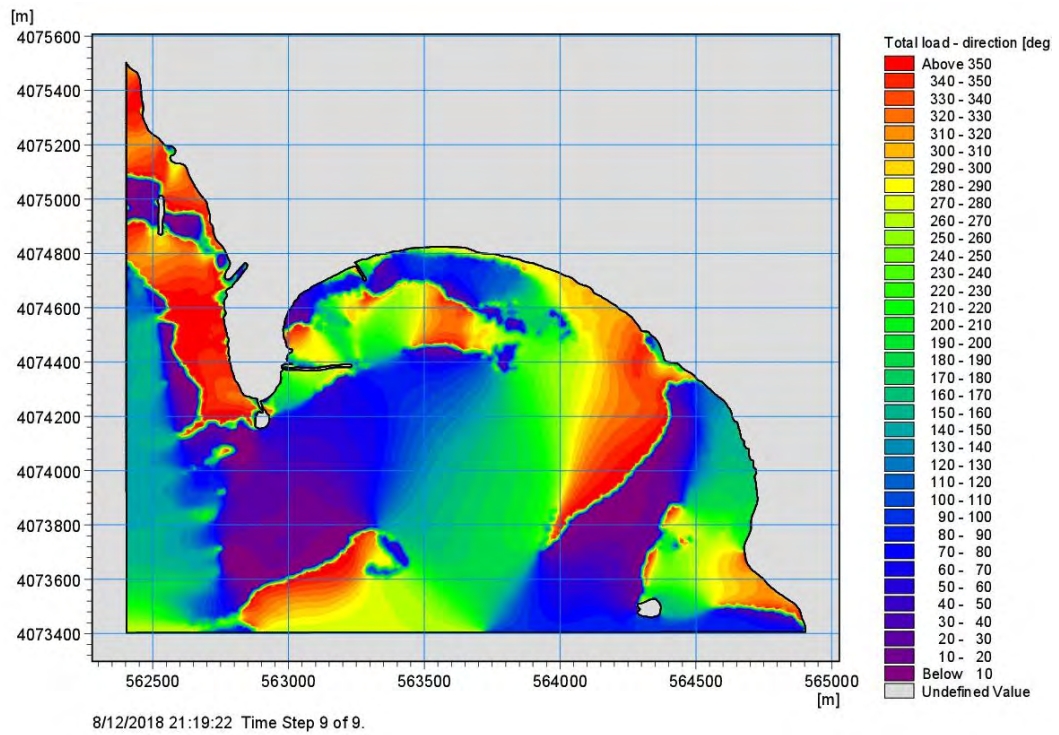
Σχήμα 5.1. 38 Χωρική κατανομή της ταχύτητας κατά x για Δυτικό άνεμο 8 BF



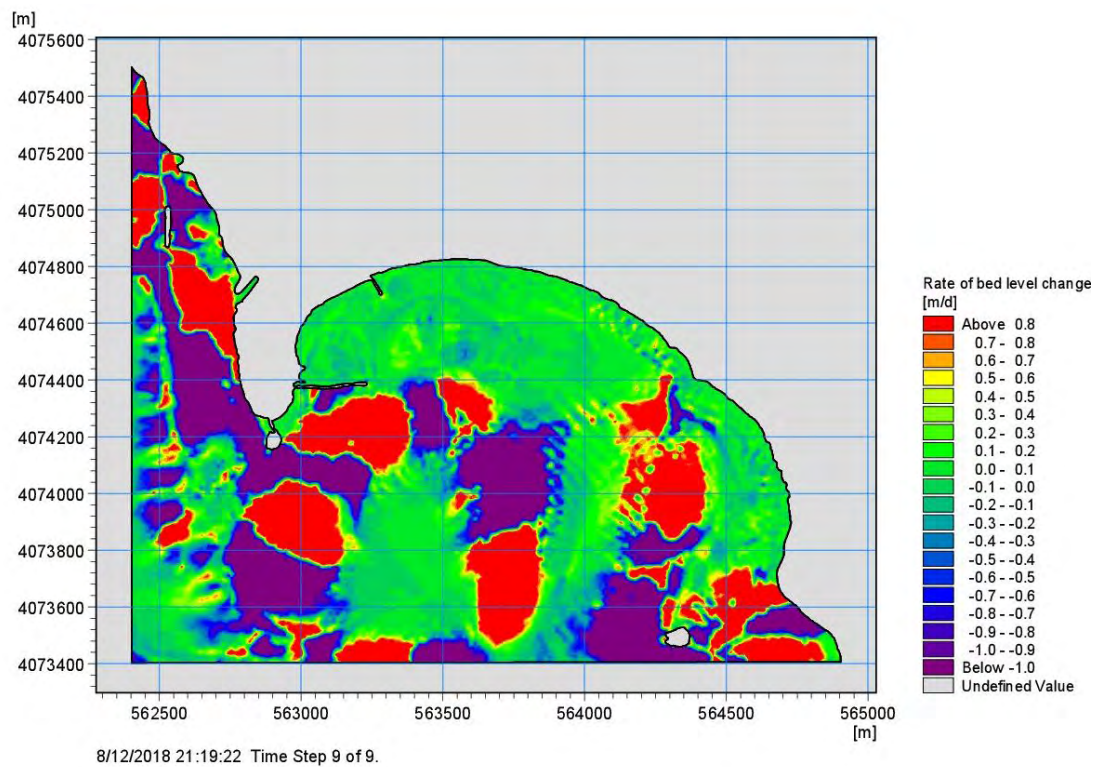
Σχήμα 5.1. 39 Χωρική κατανομή της ταχύτητας κατά y για Δυτικό άνεμο 8 BF



Σχήμα 5.1. 40 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και γ για Δυτικό άνεμο 8 BF



Σχήμα 5.1. 41 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Δυτικό άνεμο 8 BF

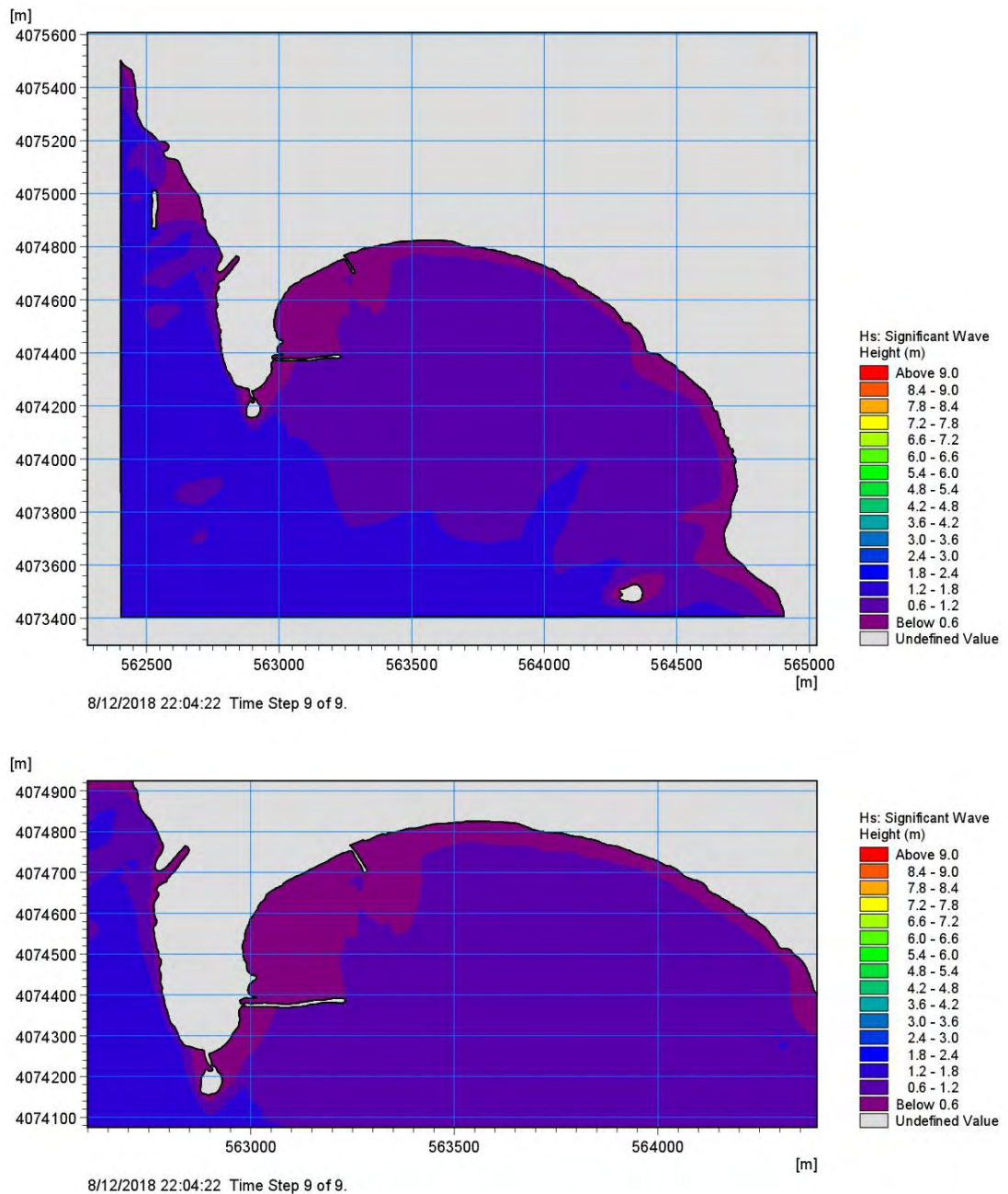


Σχήμα 5.1. 42 Χωρική κατανομή του ρυθμού αλλαγής της στάθμης του πυθμένα για Νότιο άνεμο 8 BF

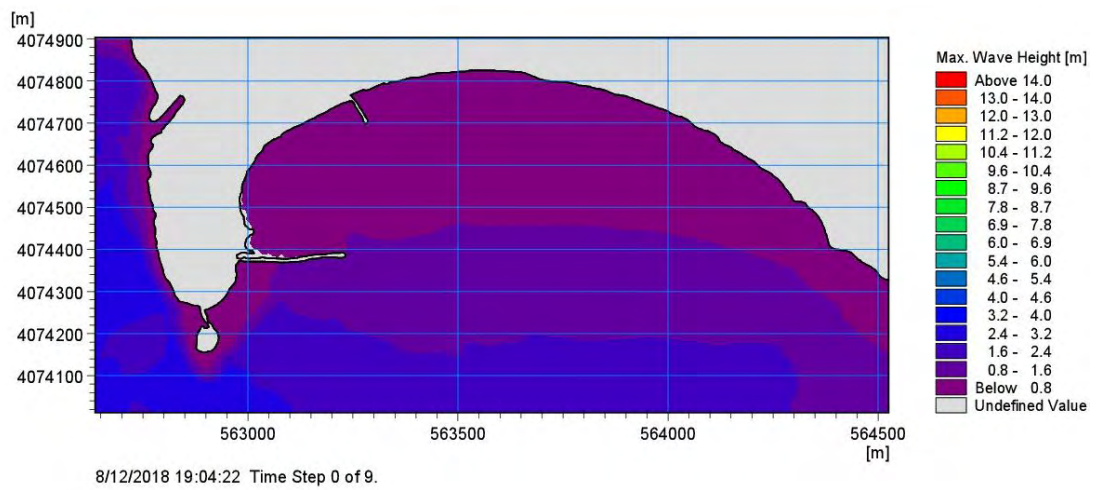
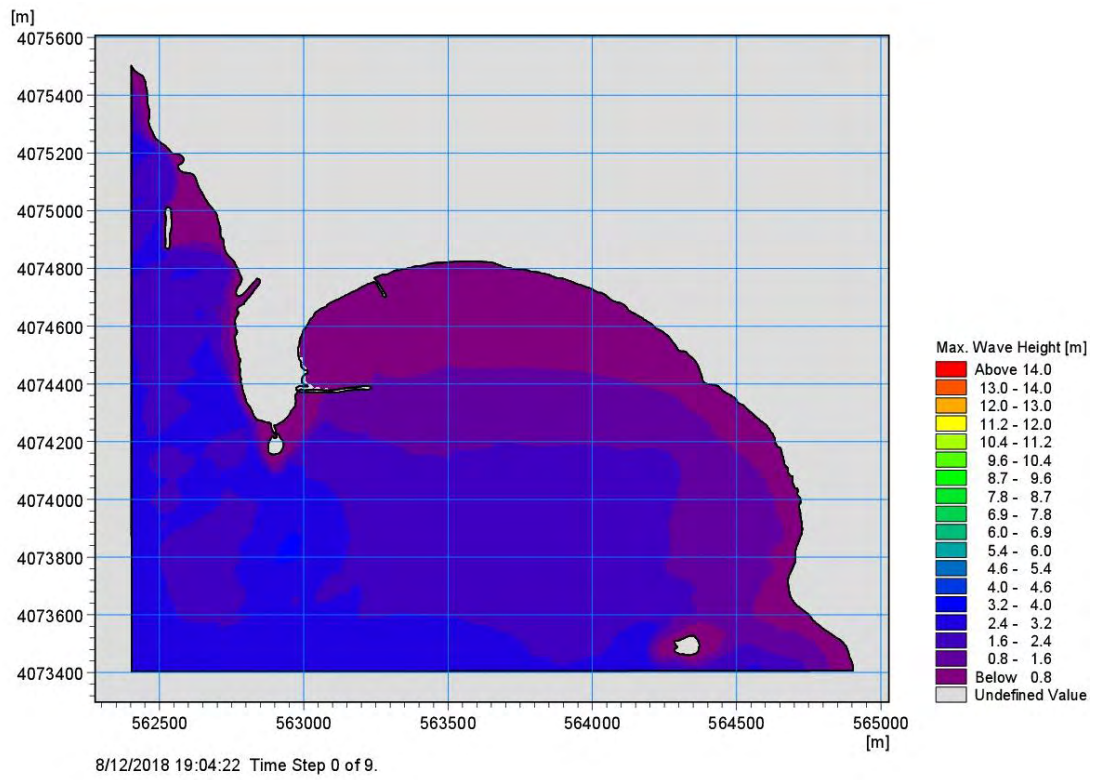
5.1.3 Αποτελέσματα για Νοτιοδυτικό άνεμο

Όπως προηγουμένως, οι κυματισμοί και οι επιδράσεις για άνεμο μικρής έντασης παρουσιάζουν παραμέτρους σημαντικά μικρότερης τάξης συγκριτικά με έντονα φαινόμενα ανεμογενών κυματισμών.

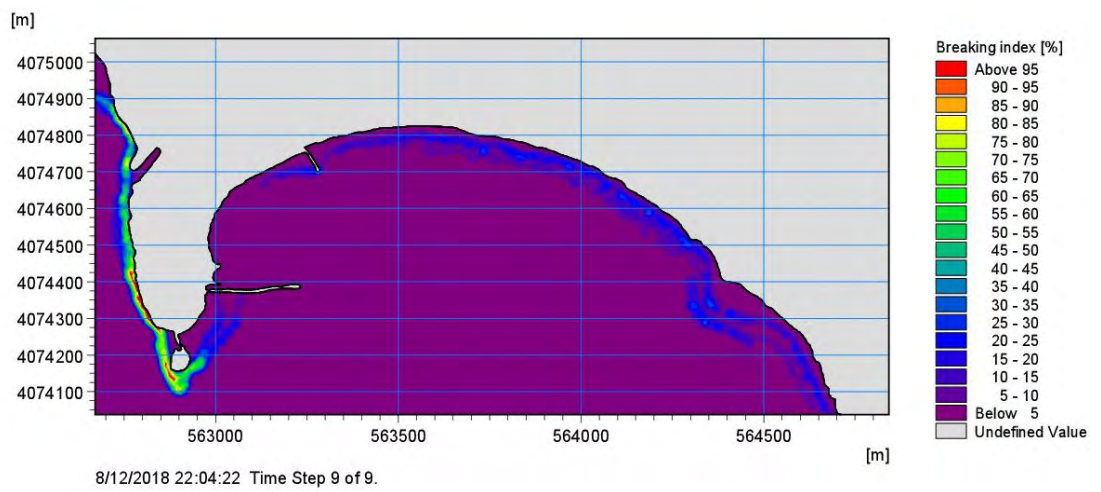
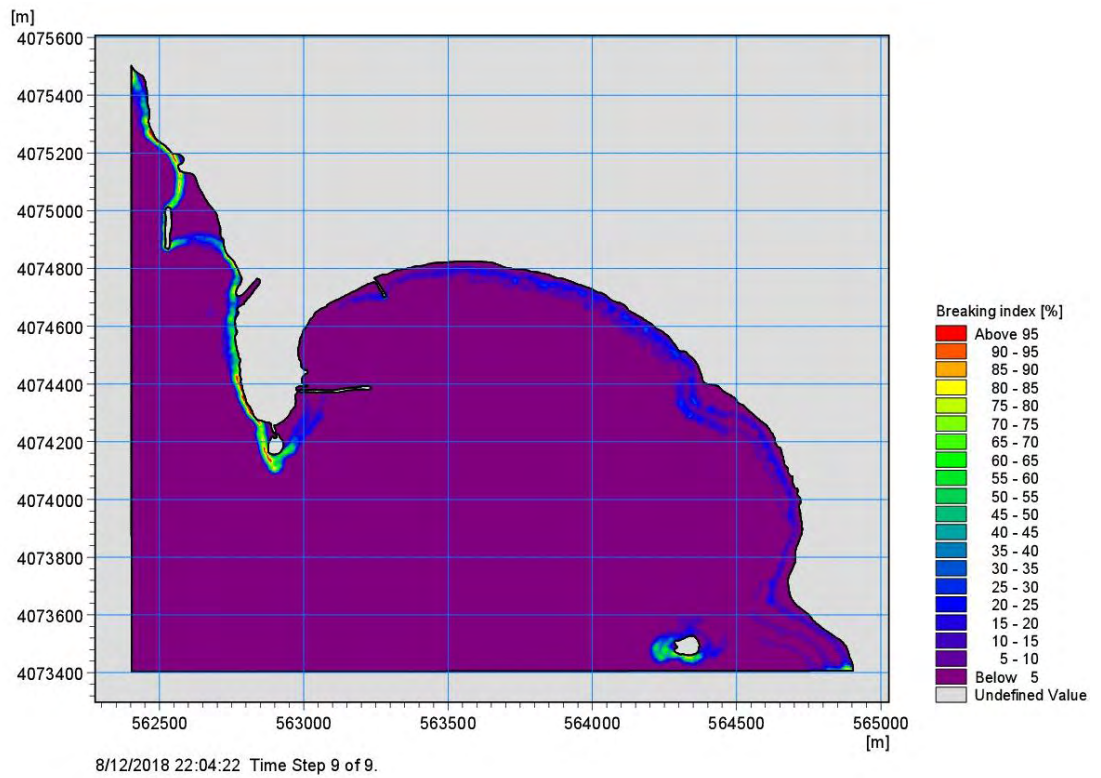
5.1.3.1 Αποτελέσματα για Νοτιοδυτικό άνεμο έντασης 4 Μποφόρ



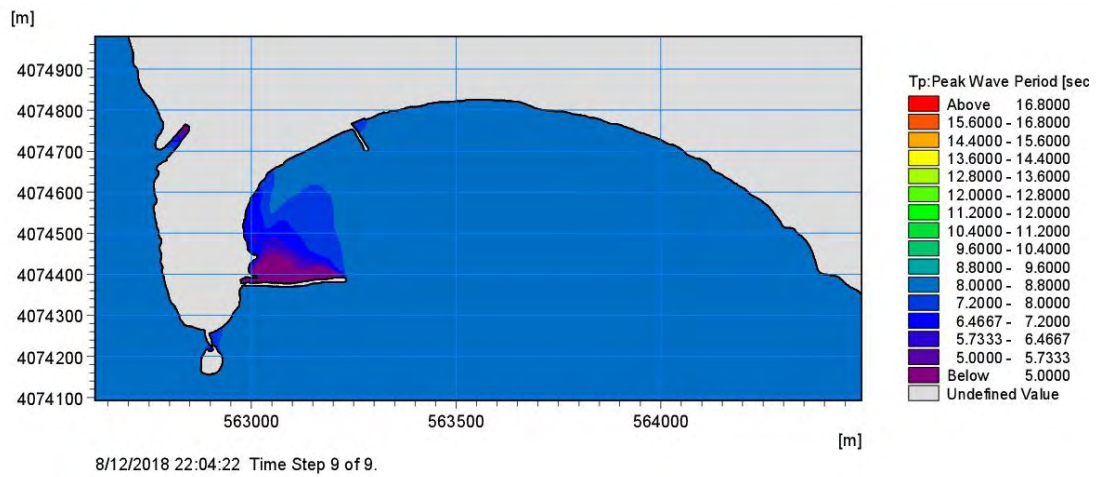
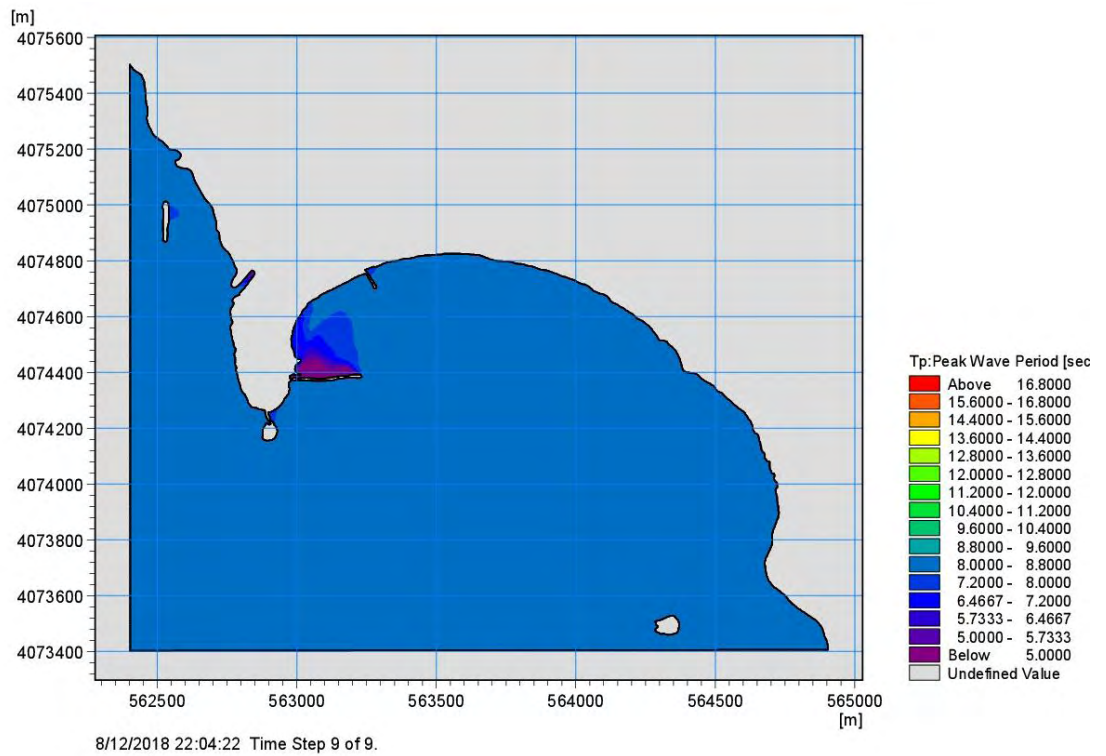
Σχήμα 5.1. 43 Χωρική κατανομή του χαρακτηριστικού ύψους κύματος για Νοτιοδυτικό άνεμο 4 BF



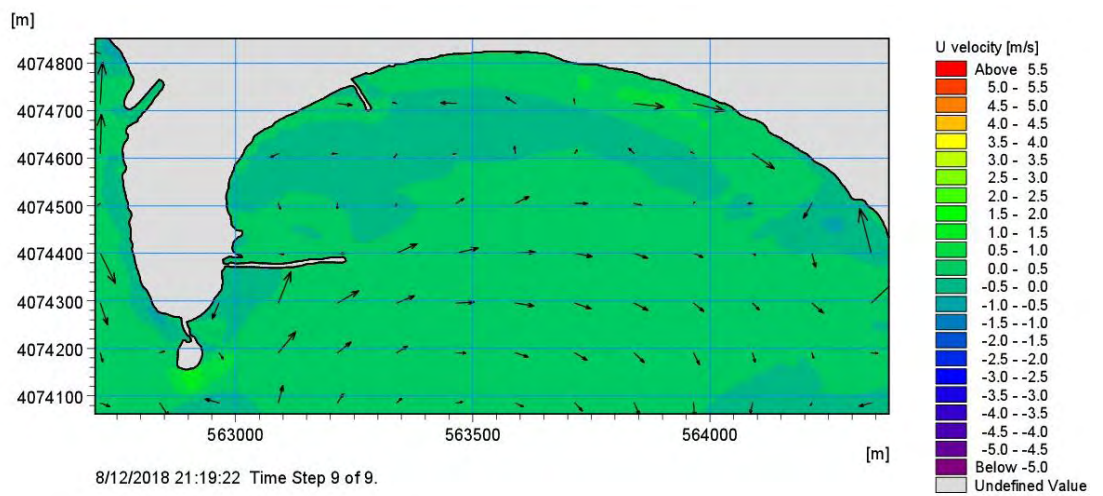
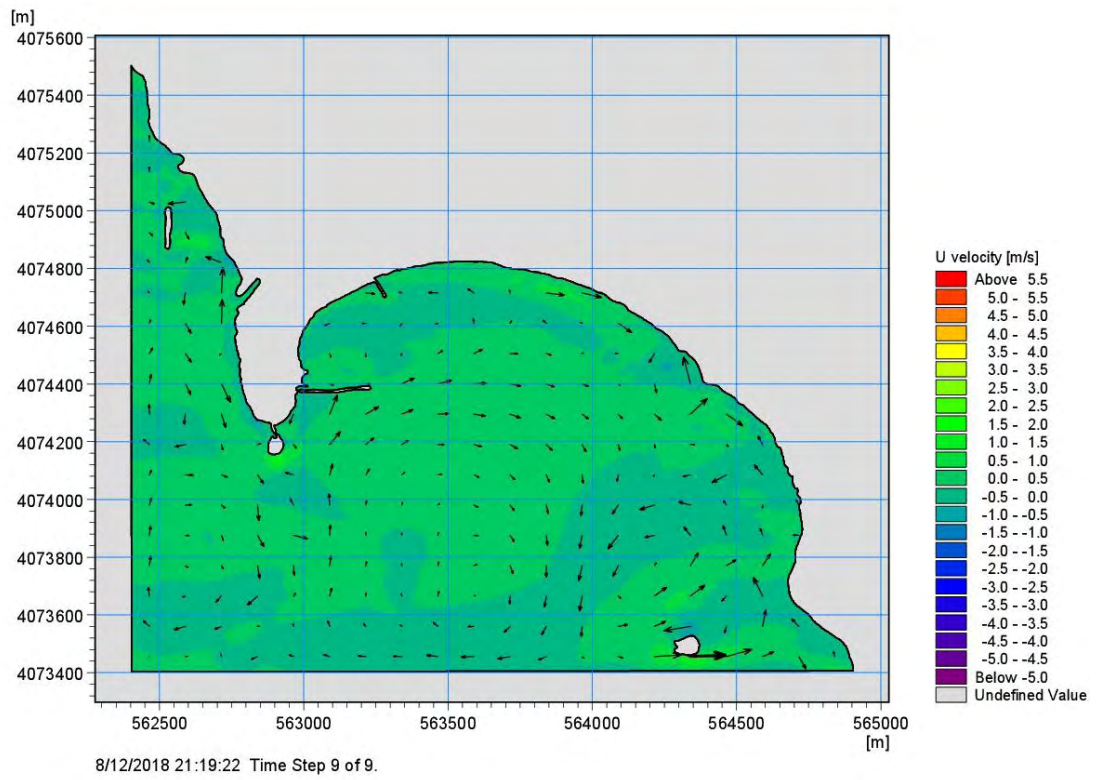
Σχήμα 5.1. 44 Χωρική κατανομή μέγιστου ύψους κύματος για Νοτιοδυτικό άνεμο 4 BF



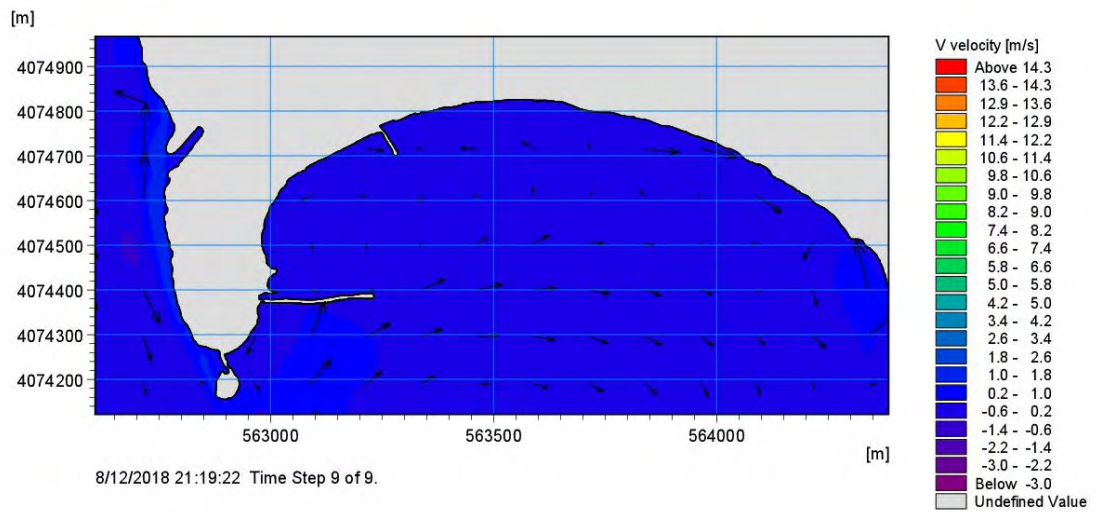
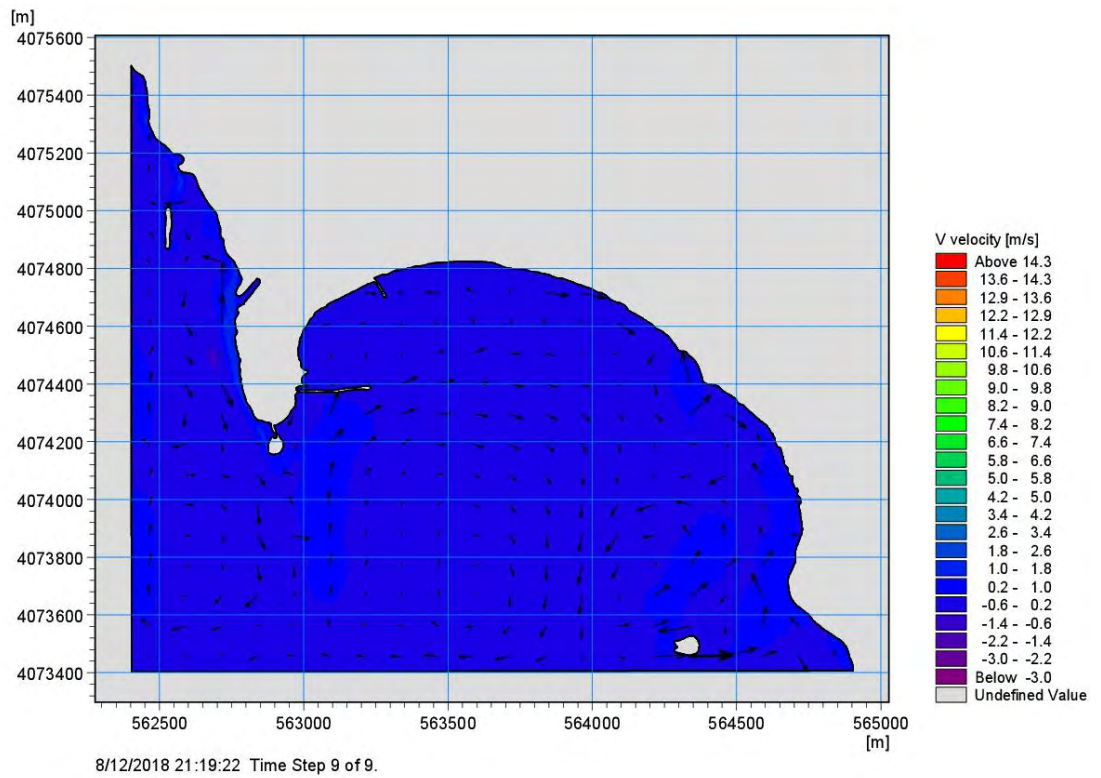
Σχήμα 5.1. 45 Χωρική κατανομή του δείκτη θραύσης για Νοτιοδυτικό άνεμο 4 BF



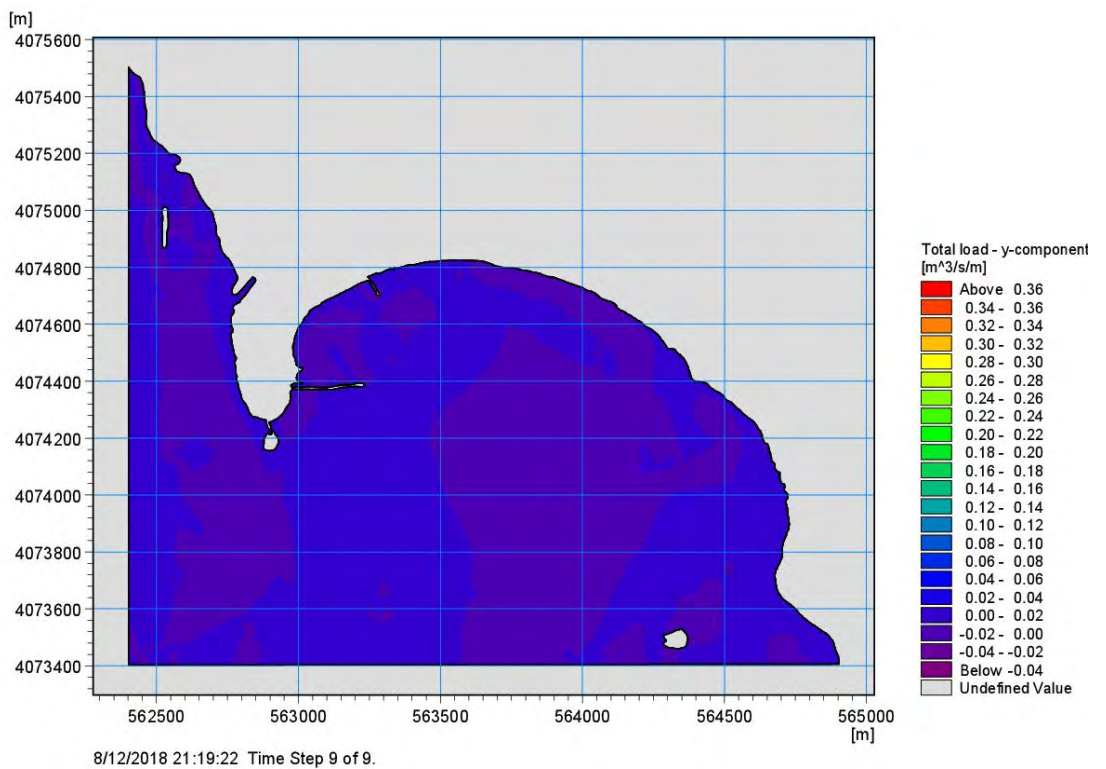
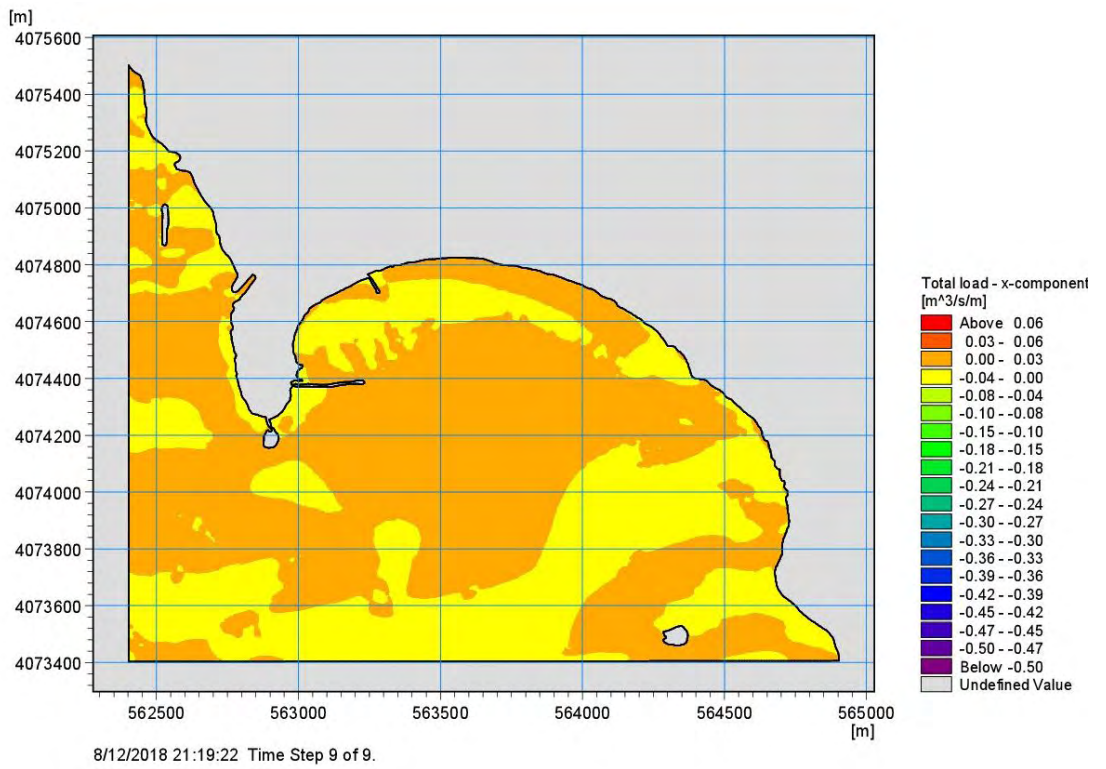
Σχήμα 5.1. 46 Χωρική κατανομή της περιόδου αιχμής για Νοτιοδυτικό άνεμο 4 BF



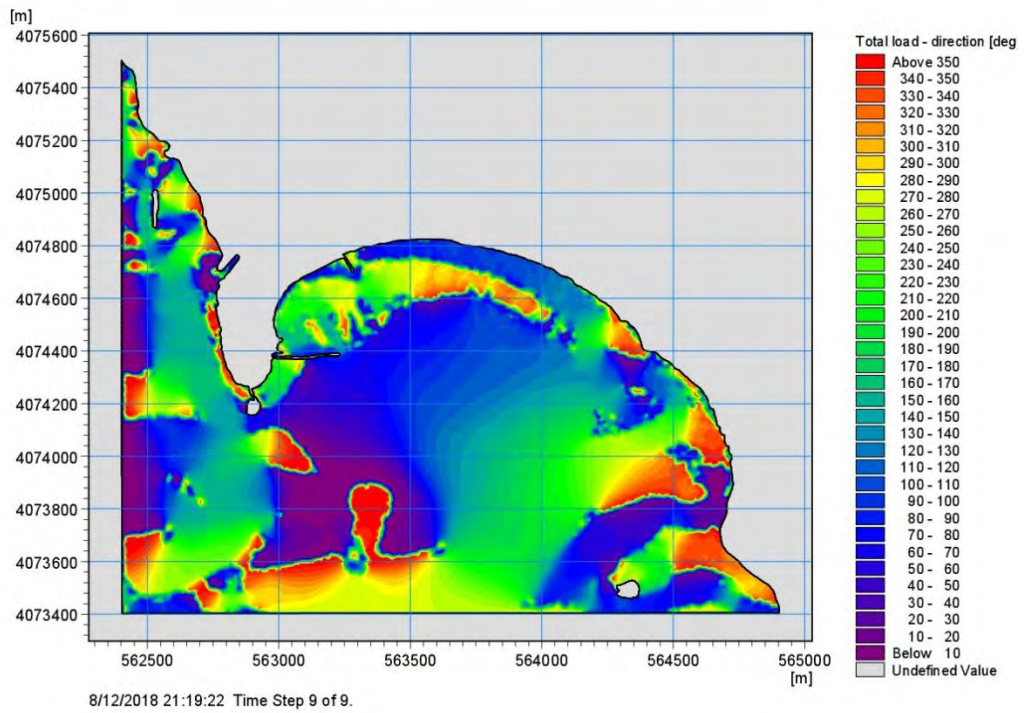
Σχήμα 5.1. 47 Χωρική κατανομή της ταχύτητας κατά χ για Νοτιοδυτικό άνεμο 4 BF



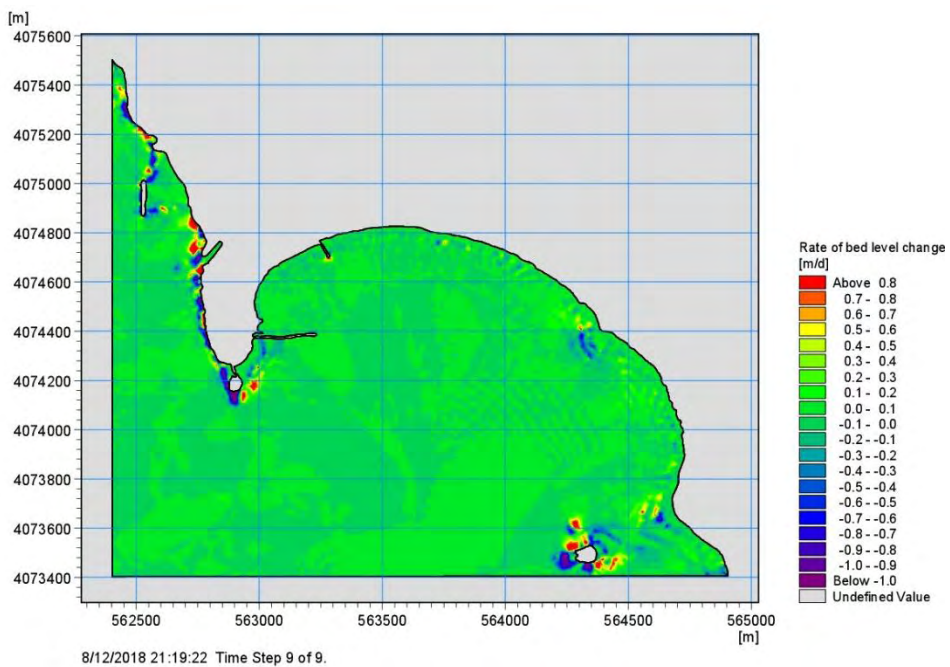
Σχήμα 5.1. 48 Χωρική κατανομή της ταχύτητας κατά y για Νοτιοδυτικό άνεμο 4 BF



Σχήμα 5.1. 49 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και γ για Νοτιοδυτικό άνεμο 4 BF

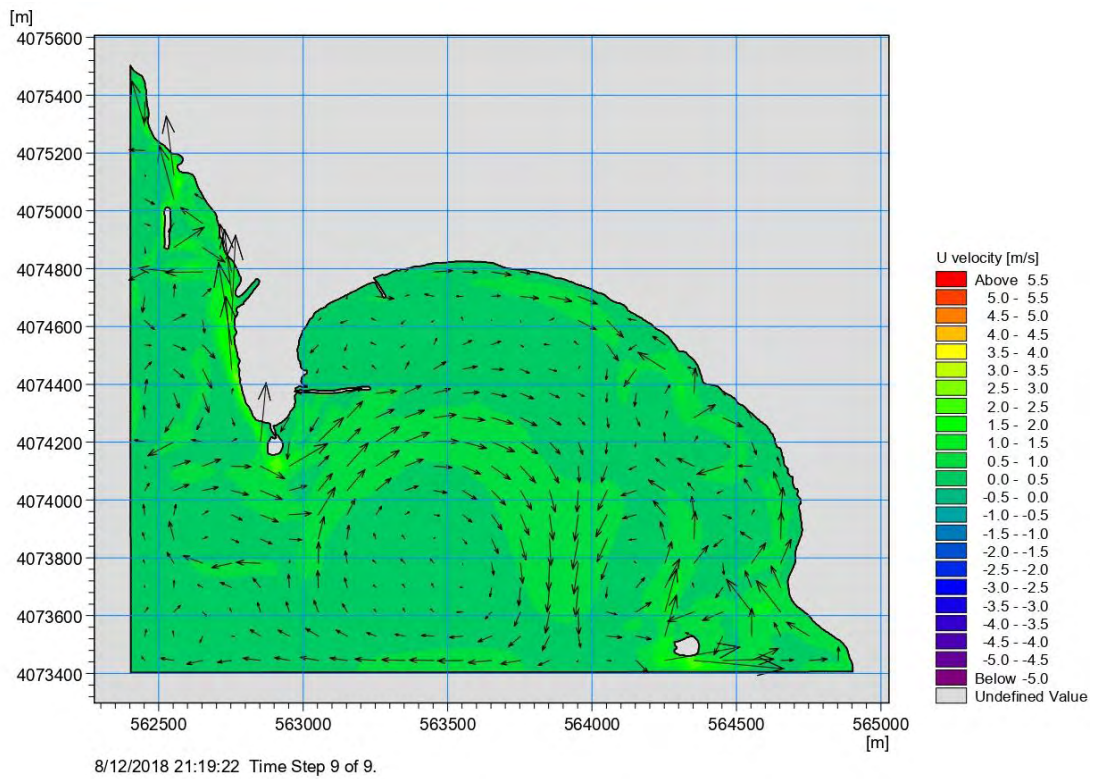


Σχήμα 5.1. 50 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νοτιοδυτικό άνεμο 4 BF

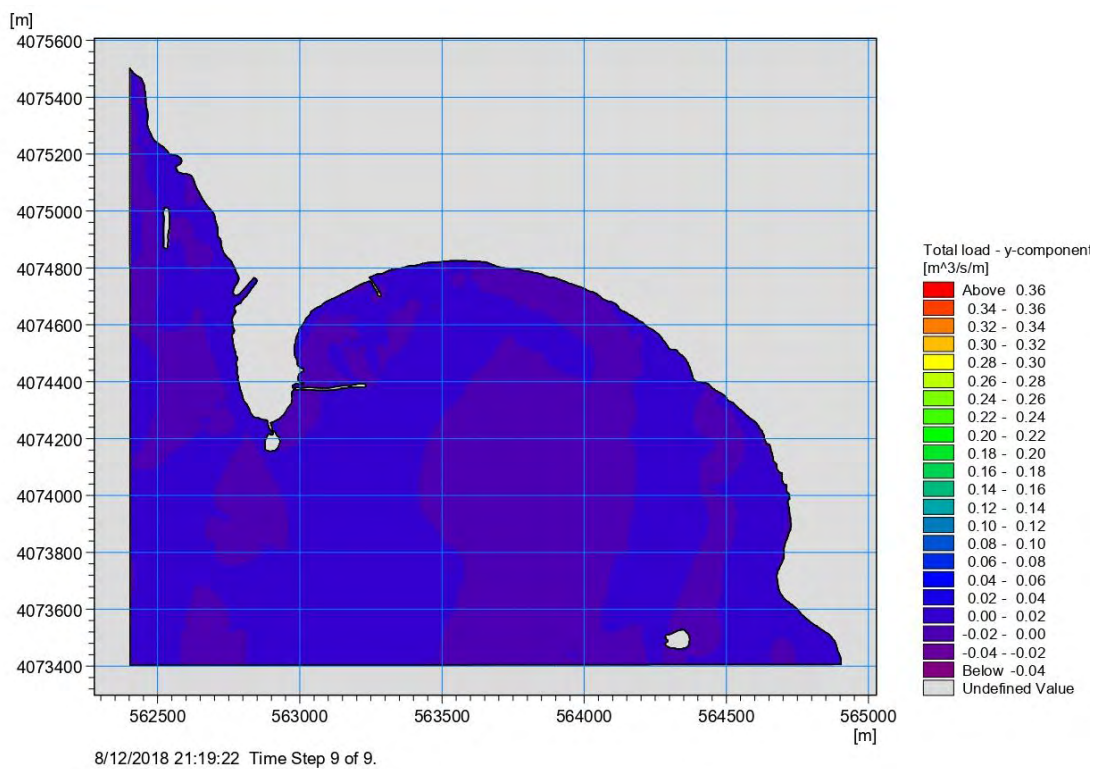
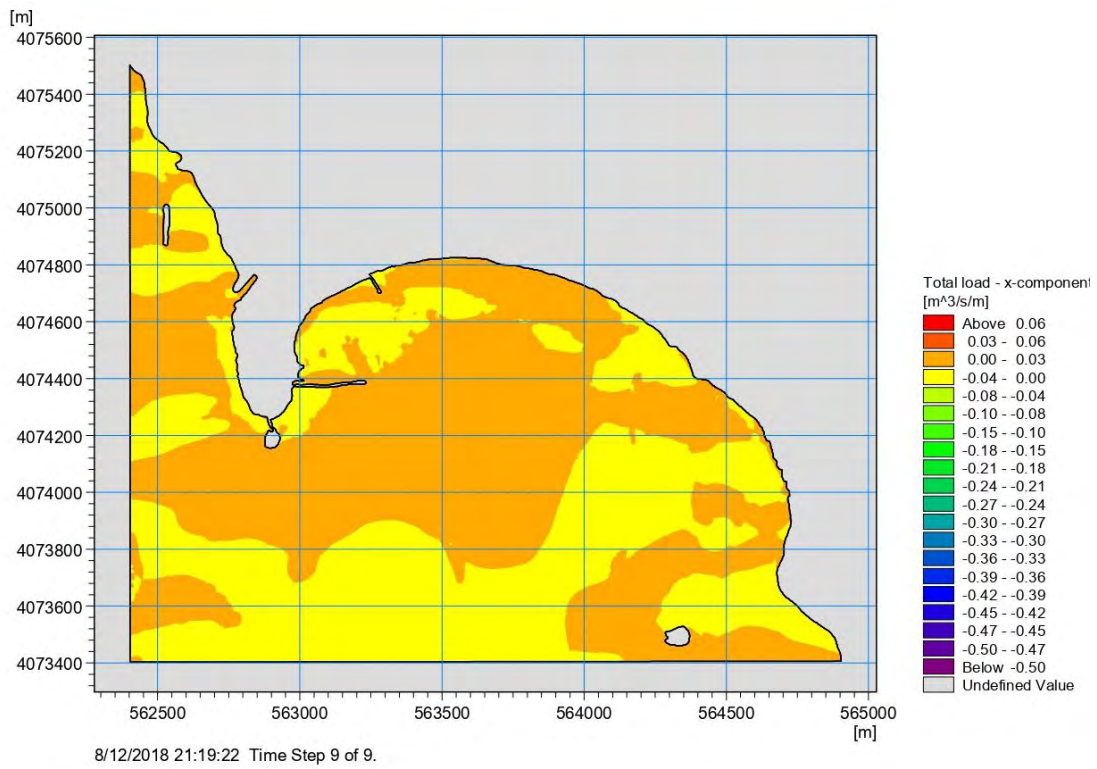


Σχήμα 5.1. 51 Χωρική κατανομή του ρυθμού αλλαγής της στάθμης του πυθμένα για Νοτιοδυτικό άνεμο 4 BF

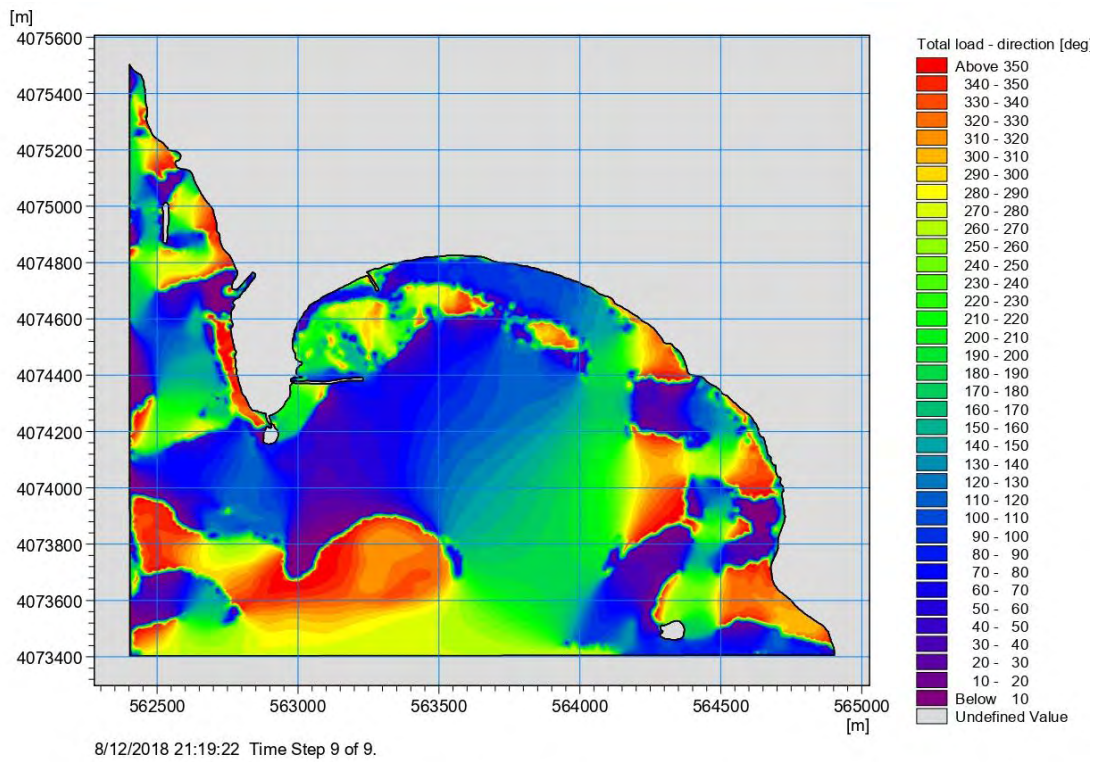
5.1.3.2 Αποτελέσματα για Νοτιοδυτικό άνεμο έντασης 5 Μποφόρ



Σχήμα 5.1. 52 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Νοτιοδυτικό άνεμο 5 BF

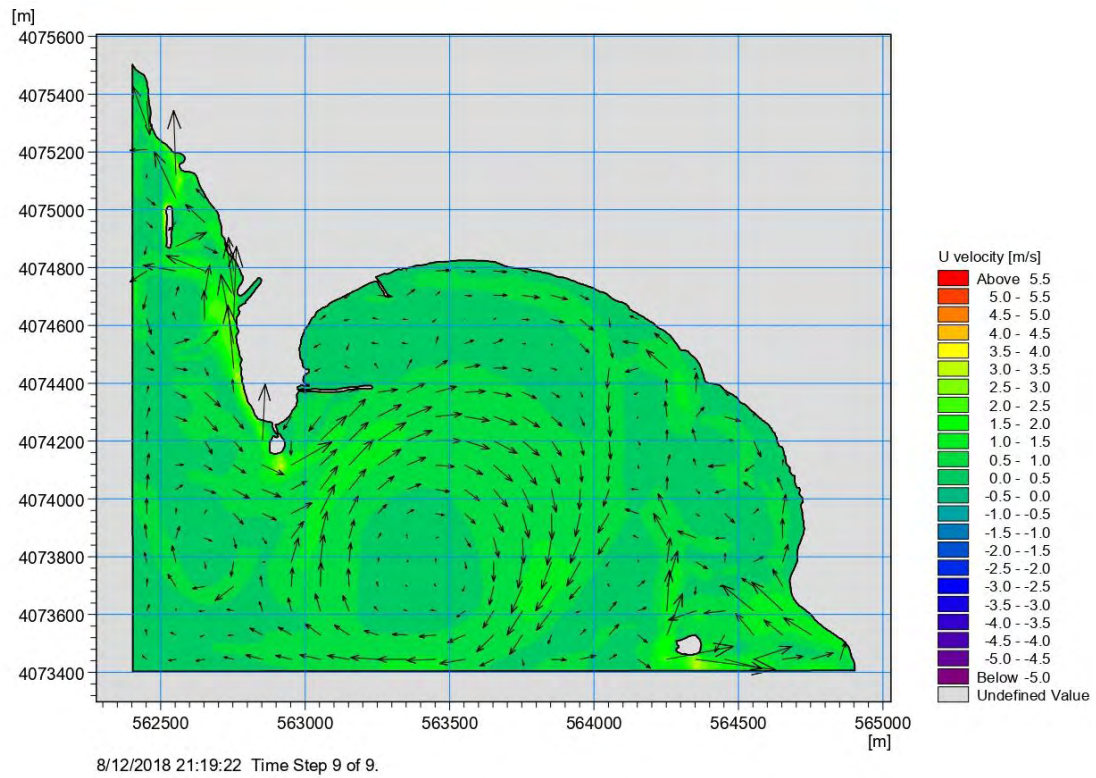


Σχήμα 5.1. 53 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά x και y για Νότιοδυτικό άνεμο 5 BF

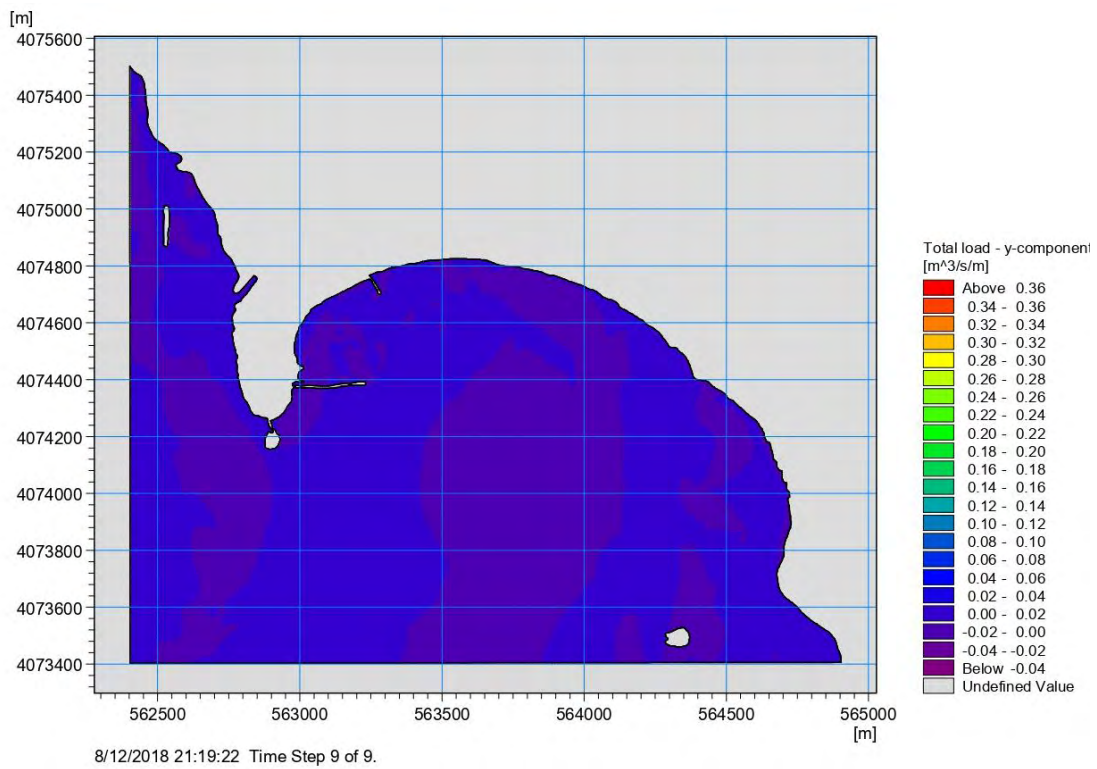
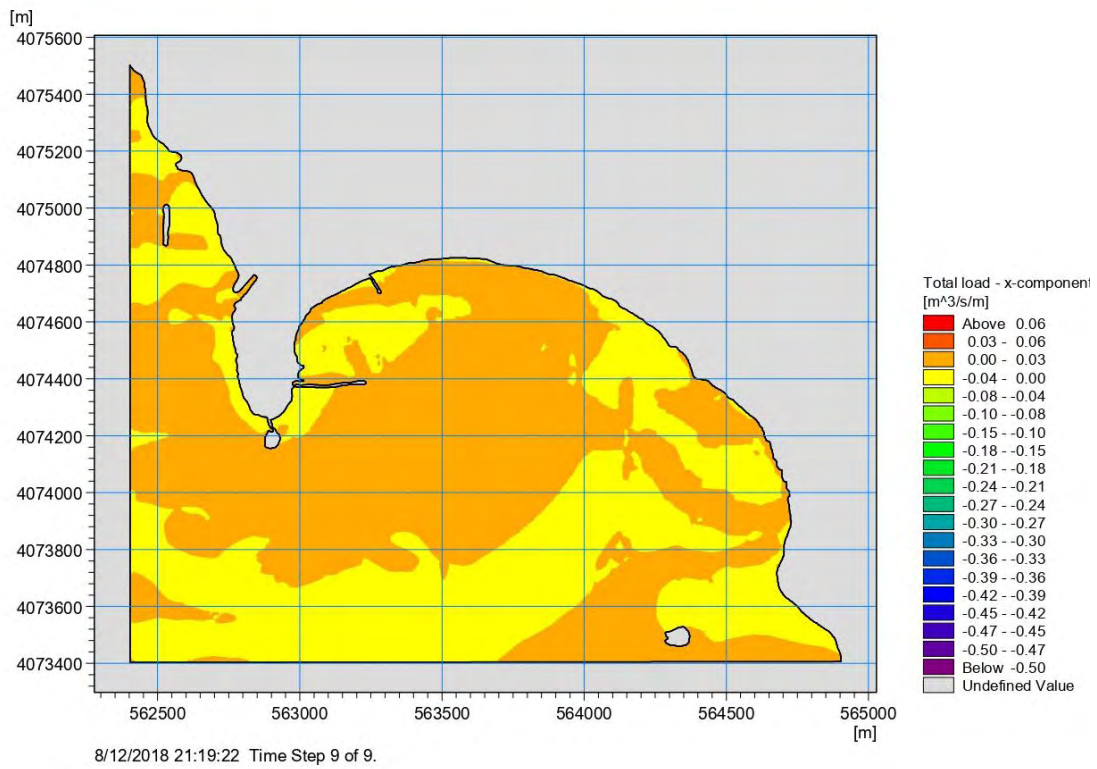


Σχήμα 5.1. 54 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νοτιοδυτικό άνεμο 5 BF

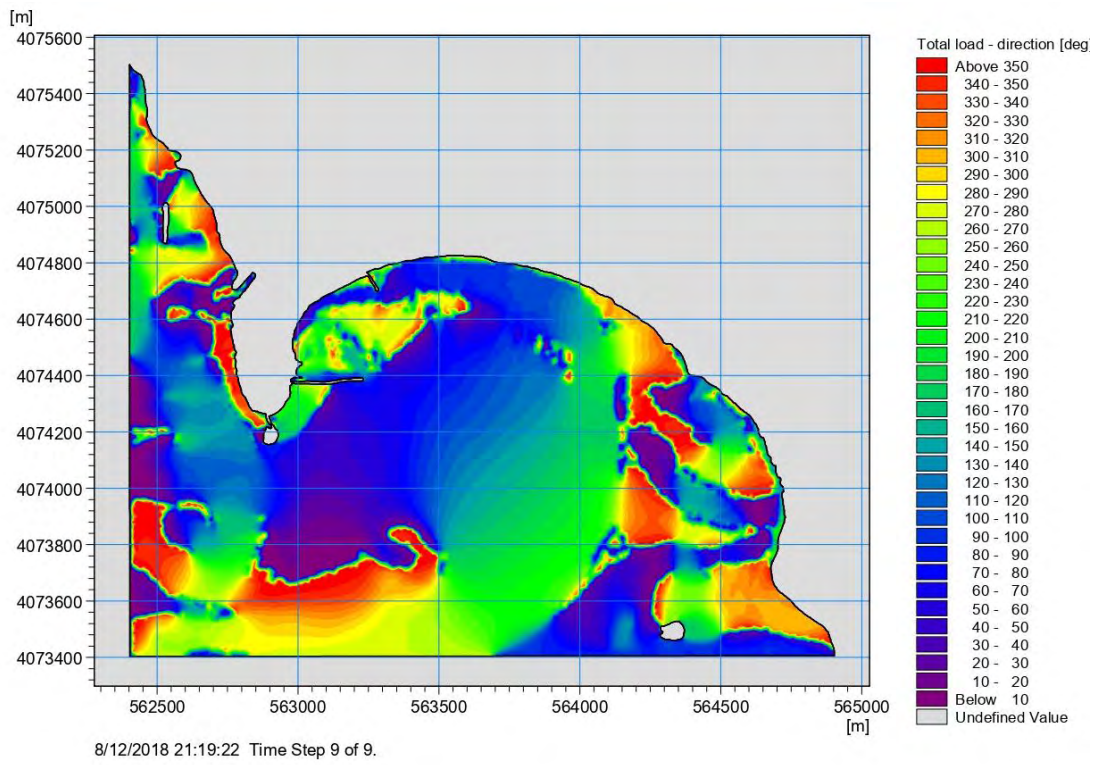
5.1.3.3 Αποτελέσματα για Νοτιοδυτικό άνεμο έντασης 6 Μποφόρ



Σχήμα 5.1. 55 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Νοτιοδυτικό άνεμο 6 BF

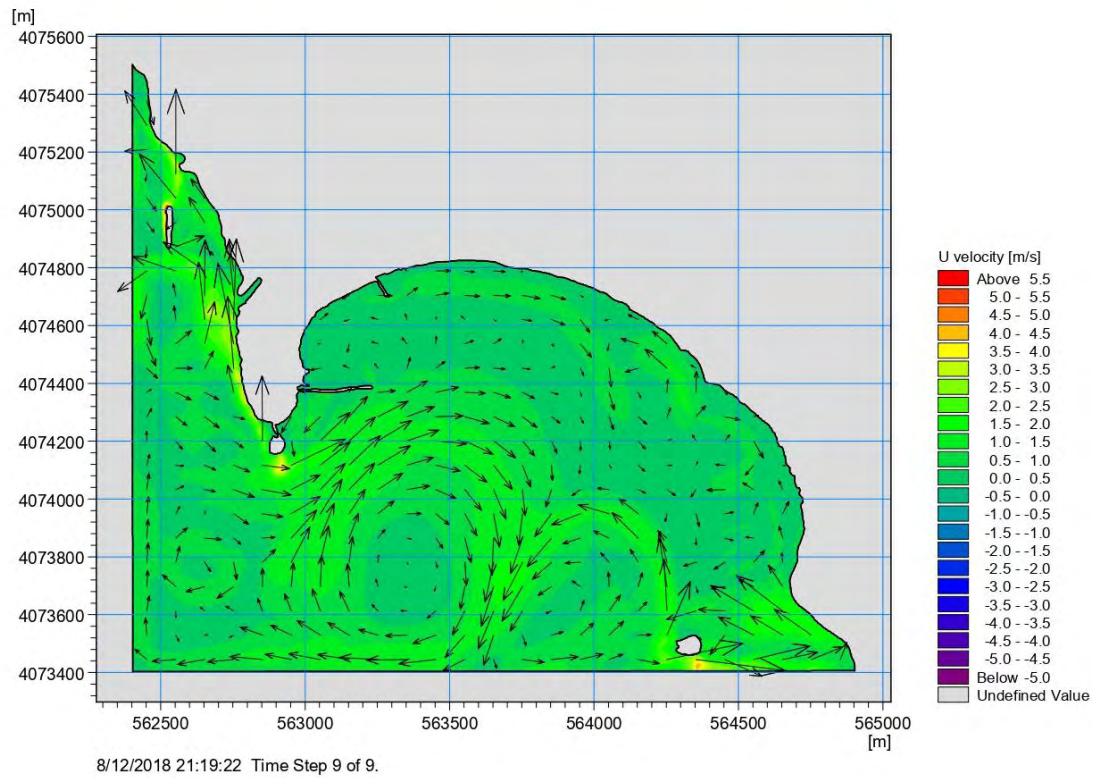


Σχήμα 5.1. 56 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά x και y για Νοτιοδυτικό άνεμο 6 BF

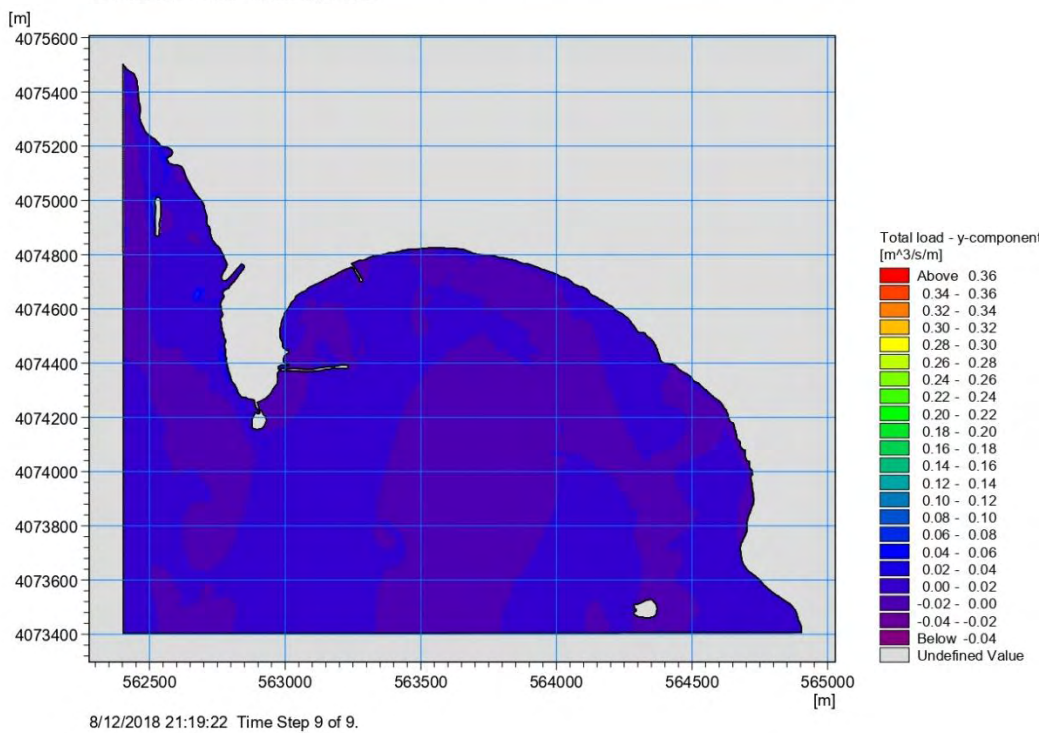
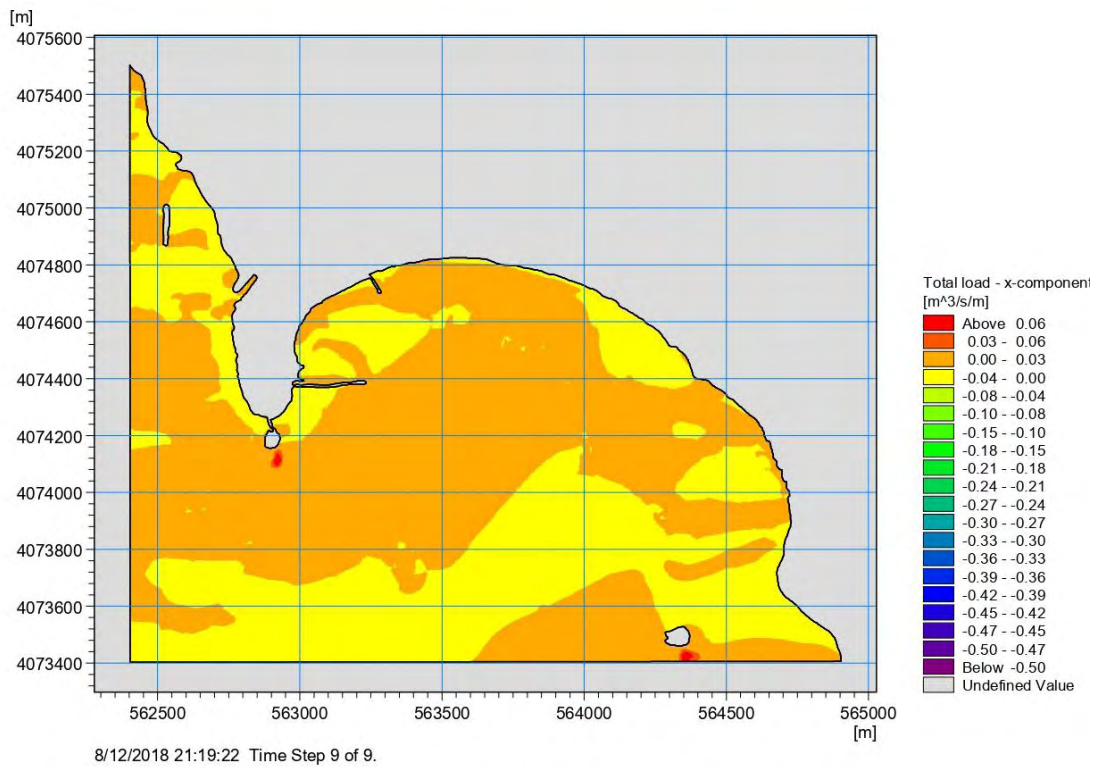


Σχήμα 5.1. 57 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νοτιοδυτικό άνεμο 6 BF

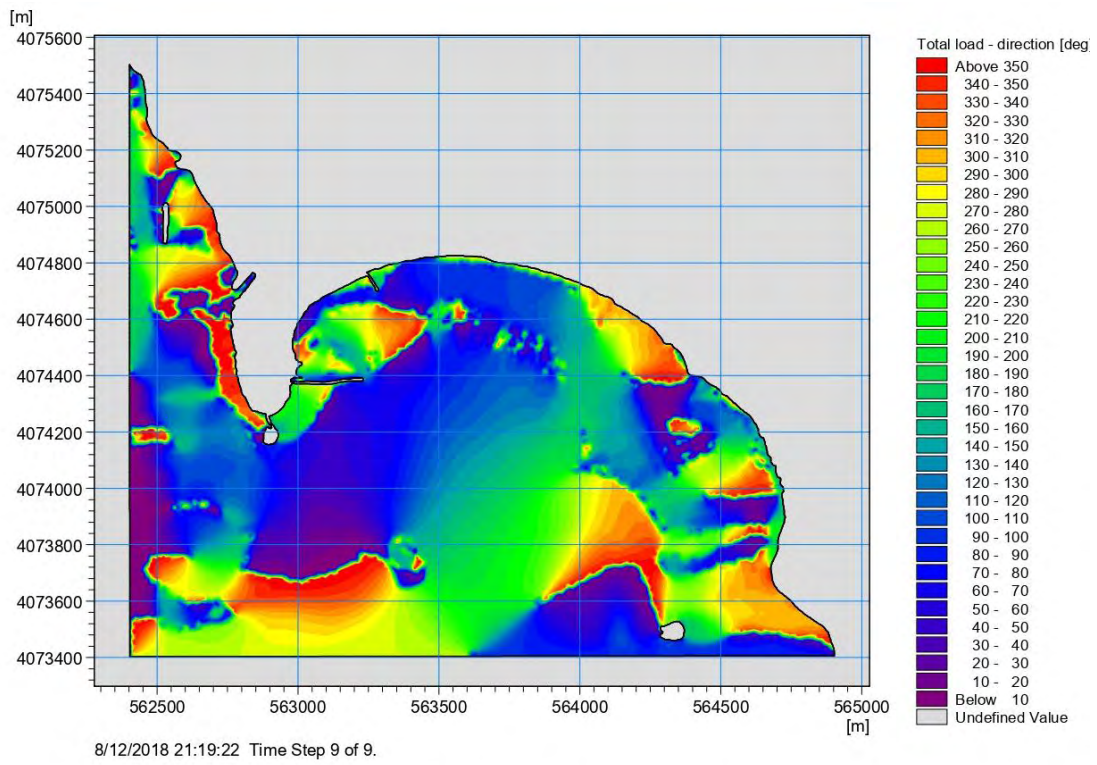
5.1.3.4 Αποτελέσματα για Νοτιοδυτικό άνεμο έντασης 7 μποφόρ



Σχήμα 5.1. 58 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Νοτιοδυτικό άνεμο 7 BF



Σχήμα 5.1. 59 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και y για Νοτιοδυτικό άνεμο 7 BF



Σχήμα 5.1. 60 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νοτιοδυτικό άνεμο 7 BF

5.1.4 Σύνοψη αποτελεσμάτων

5.1.4.1 Αποτέλεσμα για Νότιο άνεμο

Πίνακας 12 Ετήσια στερεομεταφορά για Νότιο άνεμο

Ένταση	Ρυθμός στερεομεταφοράς (m ³ /s/m)				Στερεομεταφορά (m ³ /έτος)				Επιπλέον στερεομεταφορά (m ³ /έτος)		Συνολική επίφορα (m ³ /έτος)	
	κατά Χ	κατά Υ	κατά Χ	κατά Υ	κατά Χ	κατά Υ	κατά Χ	κατά Υ	θετική	αρνητική		
5	0,000142	-0,000012	0,000005	-0,000011	231,742296	-19,583856	8,98776	-19,773072	231,9165186	-27,8298723	204,0866463	446,3452924
6	0,00026	-0,000013	0,00001	-0,000032	282,87792	-14,143896	11,98368	-38,347776	283,1316411	-40,87299497	242,2586462	
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

5.1.4.2 Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο

Πίνακας 13 Ετήσια στερεομεταφορά για Δυτικό άνεμο

Ένταση	Ρυθμός στερεομεταφοράς (m ³ /s/m)				Στερεομεταφορά (m ³ /έτος)				Δυτικός				Συνολική επίδοση (m ³ /έτος)
	κατά Χ max θετικός	κατά Χ max αρνητικός	κατά Χ max θετικός	κατά Χ max αρνητικός	κατά Χ max θετική	κατά Χ max αρνητική	κατά Χ max θετική	κατά Χ max αρνητική	κατά Χ max θετική	κατά Χ max αρνητική	κατά Χ max θετική	κατά Χ max αρνητική	
5	0,000716	-0,000034	0,000038	-0,000169	105321,1072	-5001,281626	6156,735437	-27381,27076	105500,9052	-27834,27395	77666,6313	77666,6313	135732,1628
6	0,000964	-0,000072	0,000067	-0,000206	70449,52742	-5261,79043	5393,123364	-16581,84198	70655,65578	-17396,66411	53258,99167	53258,99167	
7	0,000972	-0,000144	0,000102	-0,000138	8195,843736	-1214,199072	947,309904	-1281,654576	8250,409117	-1765,479493	6484,929625	6484,929625	
8	0,00112	-0,000149	0,000106	-0,0013	5995,271117	-797,5851754	624,9728794	-7664,761728	6027,75803	-7706,147835	-1678,389806	-1678,389806	

5.1.4.3 Αποτέλεσμα για Νοτιοδυτικό άνεμο

Πίνακας 14 Ετήσια στερεομεταφορά για Νοτιοδυτικό άνεμο

Ένταση	Ρυθμός στερεομεταφοράς (m ³ /s/m)				Στερεομεταφορά (m ³ /έτος)				Νοτιοδυτικός				Τελική στερεομεταφορά (m ³ /έτος)	Συνολική ετήσια (m ³ /έτος)
	κατά Χ	κατά Υ	κατά Χ	κατά Υ	κατά Χ	κατά Υ	κατά Χ	κατά Υ	κατά Χ	κατά Υ	κατά Χ	κατά Υ		
5	0,000331	0,000011	0,000018	-0,000039	8372,914434	-278,253954	501,517008	-1086,620184	8387,920805	-1121,681188	7266,239617	7266,239617	Συνολική ετήσια (m ³ /έτος) 10863,01428	
6	0,000466	-0,000003	0,000021	-0,000041	3635,22063	-234,0270792	180,4382598	-352,284241	3639,696004	-422,9936357	3216,762368	3216,762368		
7	0,000457	-0,000077	0,000072	-0,000077	497,212344	-83,775384	86,282496	-92,274336	504,6432246	-124,6309273	380,0122973	380,0122973		
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

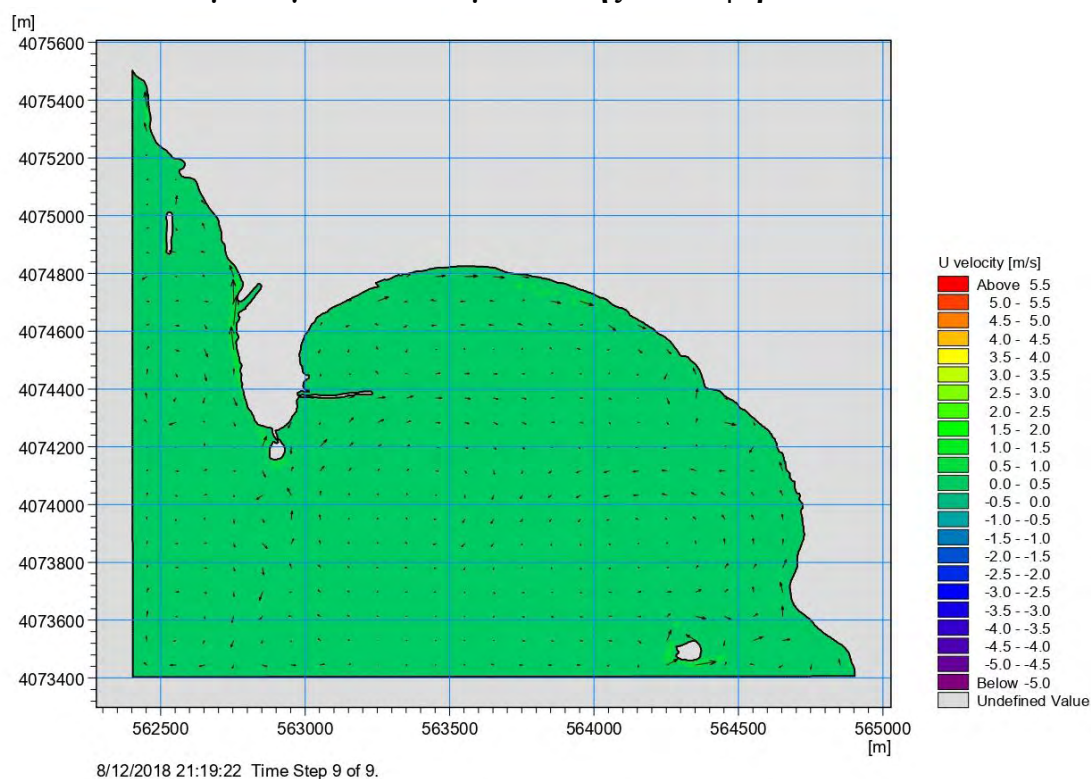
5.2 Αποτελέσματα για Εναλλακτικό Σενάριο-Πρόταση από το μοντέλο MIKE 21

Σε αυτή την ενότητα θα εξεταστεί η στερεομεταφορά στο λιμένα της Μεθώνης με την αφαίρεση του μικρότερου κυματοθραύστη με το λογισμικό της DHI, MIKE 21. Ο λόγος που δεν αφαιρέθηκε ο μεγάλος κυματοθραύστης είναι ότι αποτελεί μέρος του αρχαίου κάστρου της Μεθώνης και συνεπώς η αφαίρεση του είναι απαγορευτική. Στόχος με την αφαίρεση του ενός κυματοθραύστη είναι η αποφυγή δημιουργίας «καταφύγιου» για τα φερτά εντός του λιμένα και ακολούθως μικρότερη προσάμμωση σε αυτόν, φαινόμενο το οποίο αποτελεί βασικό πρόβλημα της περιοχής.

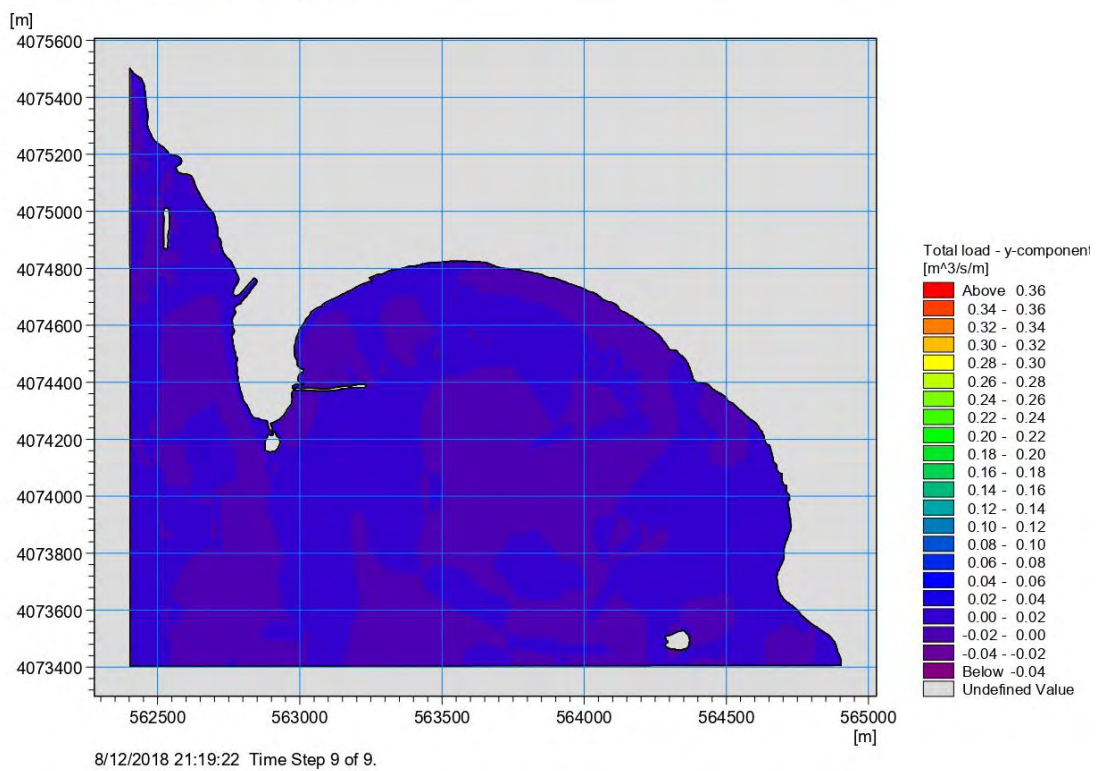
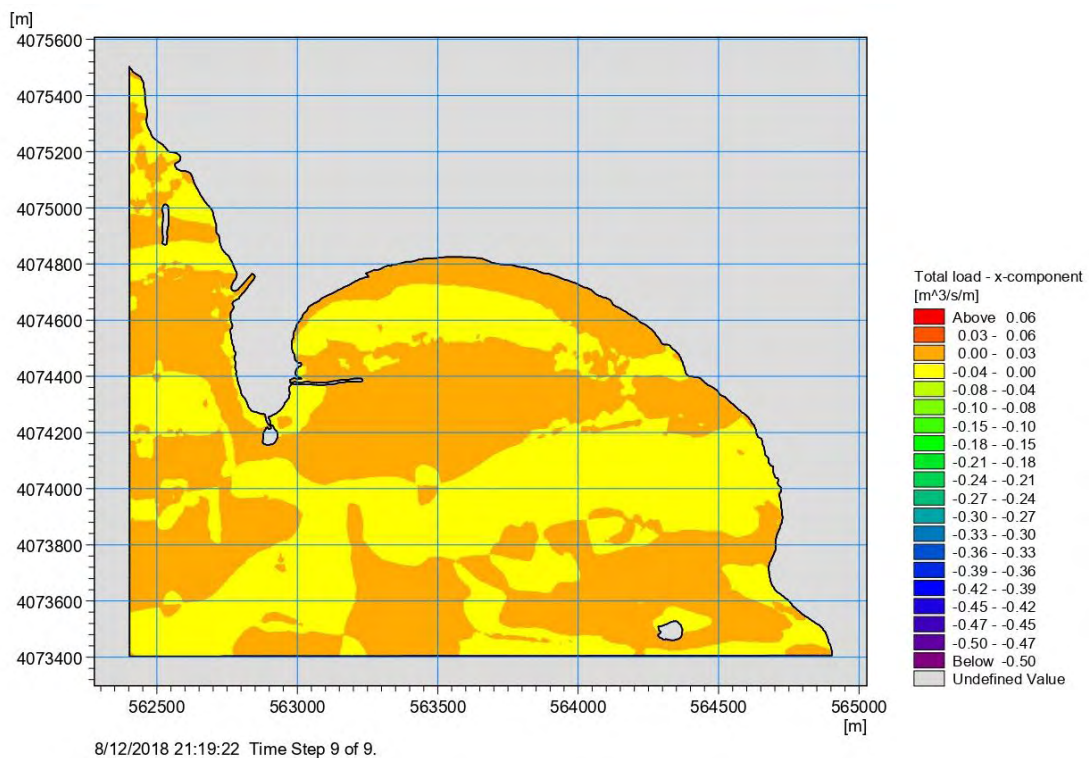
Για αυτό το σενάριο-πρόταση εξετάστηκαν εκ νέου όλες οι παράμετροι που εξετάστηκαν και στην ενότητα 5.1, ωστόσο θα παρουσιαστούν μόνο αυτές που αφορούν τη στερεομεταφορά (με γνώμονα τη συχνότητα εμφάνισης) που είναι και το αντικείμενο προς εξέταση. Η ένταση των ανέμων προς εξέταση (Νότιος, Δυτικός, Νοτιοδυτικός) φαίνονται στον Πίνακα 11 όπου εμφανίζεται η πιθανότητα εμφάνισης κάθε έντασης (από 5 έως 8 Μποφόρ) για κάθε κατεύθυνση ανέμου από αυτές που μελετούνται

5.2.1 Αποτελέσματα για Νότιο άνεμο

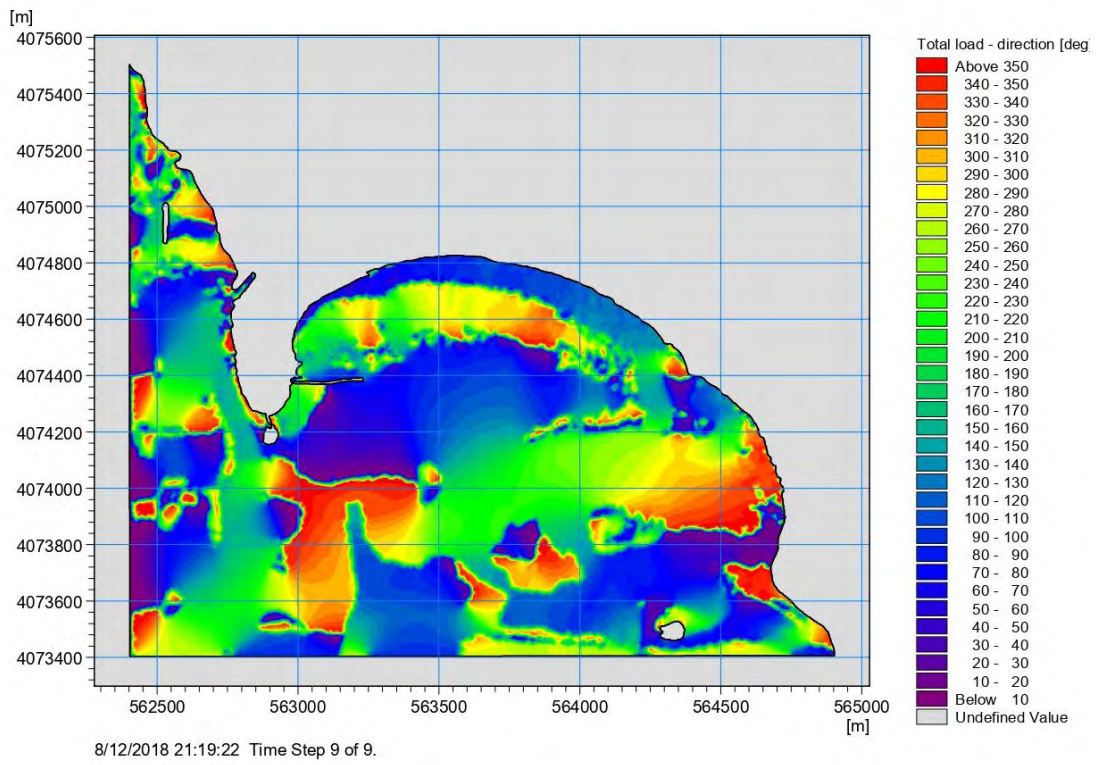
5.2.1.1 Αποτελέσματα για Νότιο άνεμο έντασης 5 Μποφόρ



Σχήμα 5.2. 1 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Νότιο άνεμο 5 BF (Σενάριο)

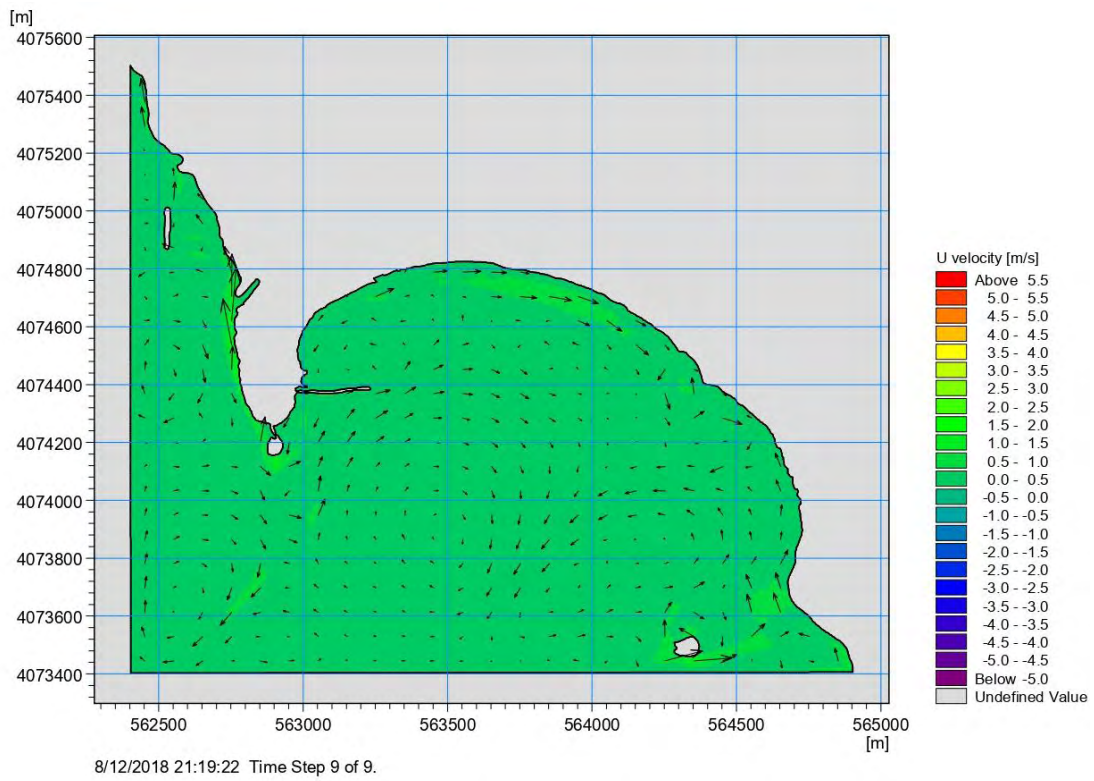


Σχήμα 5.2. 2 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά x και y για Νότιο άνεμο 5 BF (Σενάριο)

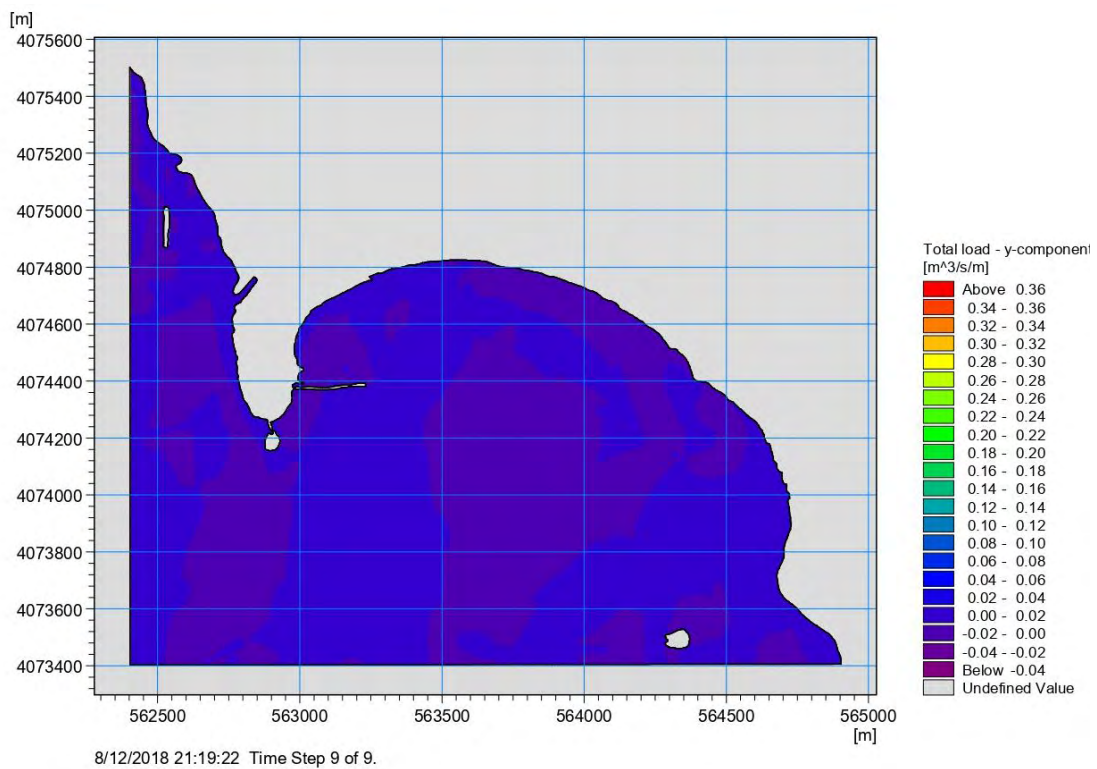
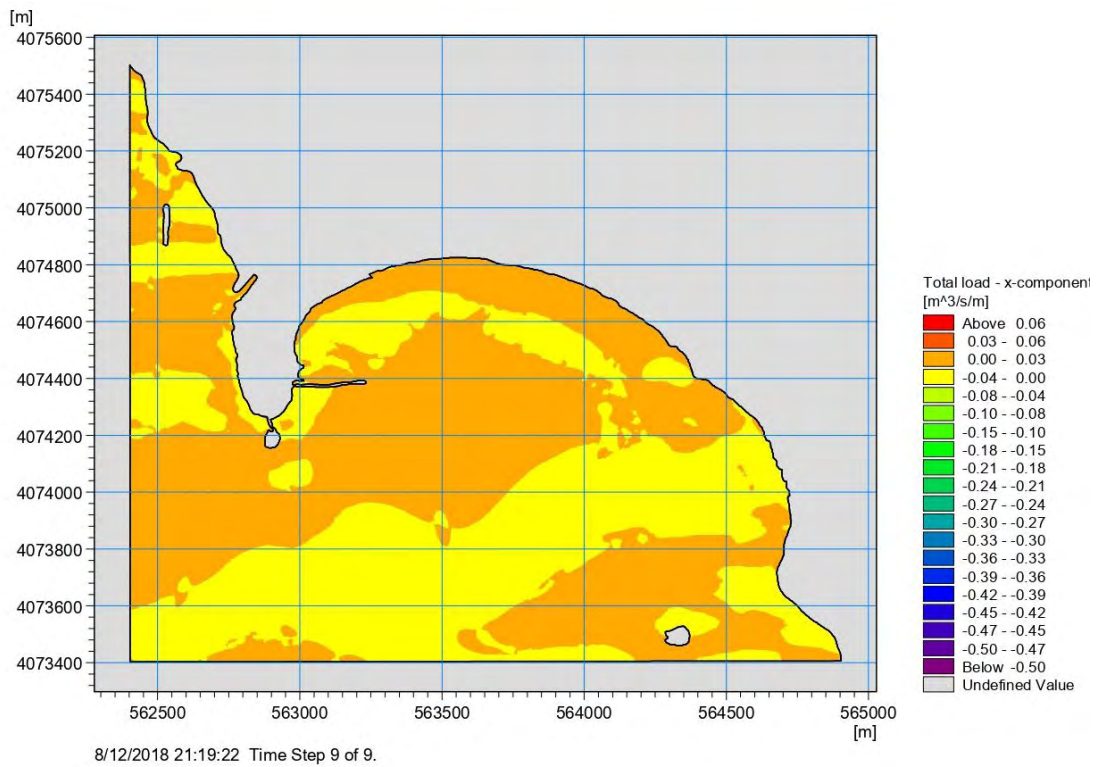


Σχήμα 5.2. 3 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νότιο άνεμο 5 BF (Σενάριο)

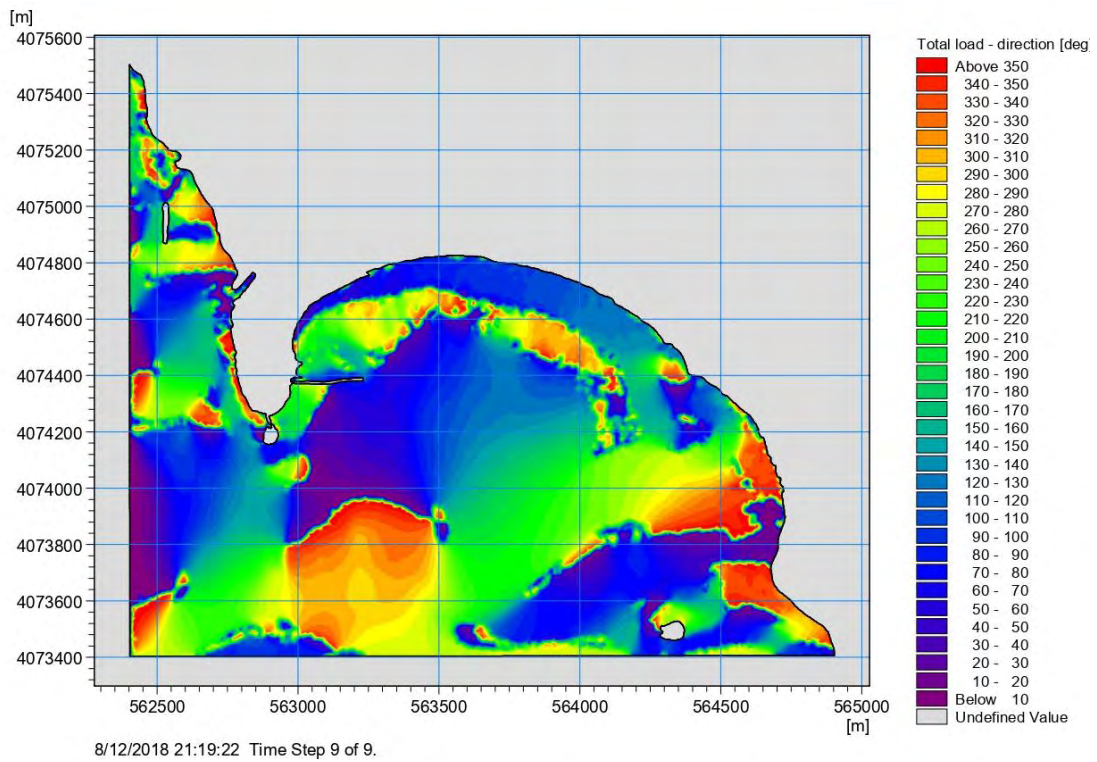
5.2.1.2 Αποτελέσματα για Νότιο άνεμο 6 Μποφόρ



Σχήμα 5.2. 4 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Νότιο άνεμο 6 BF (Σενάριο)



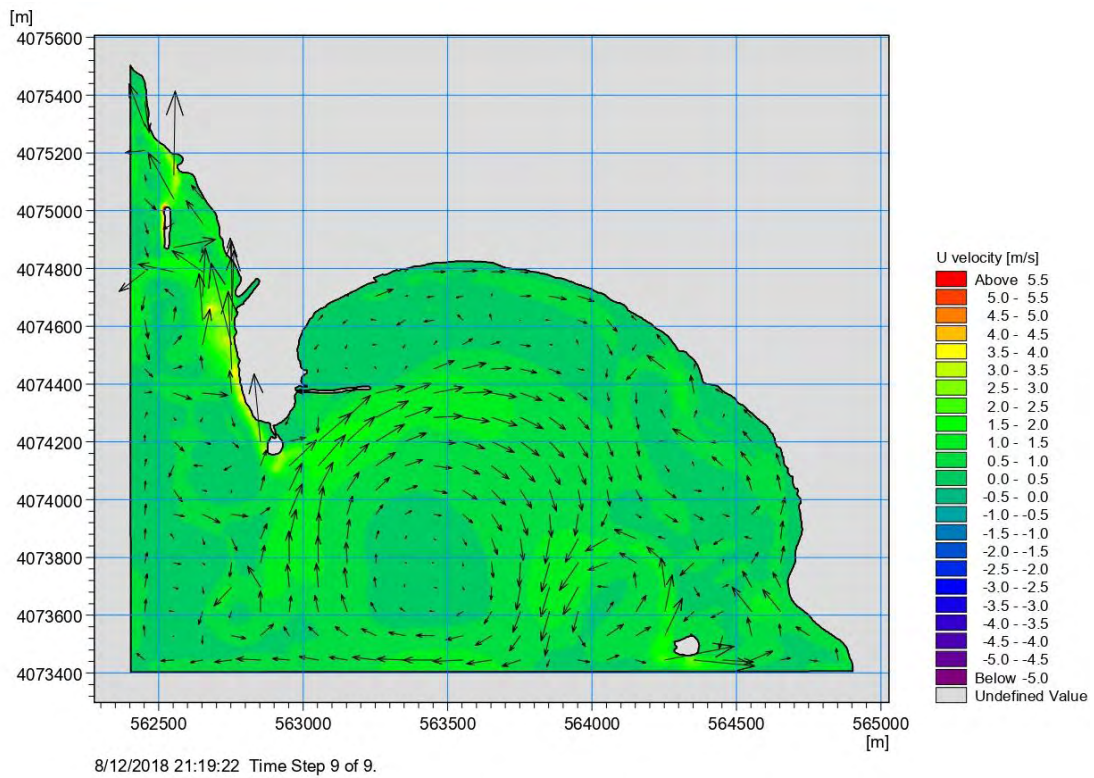
Σχήμα 5.2. 5 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά x και y για Νότιο άνεμο 6 BF (Σενάριο)



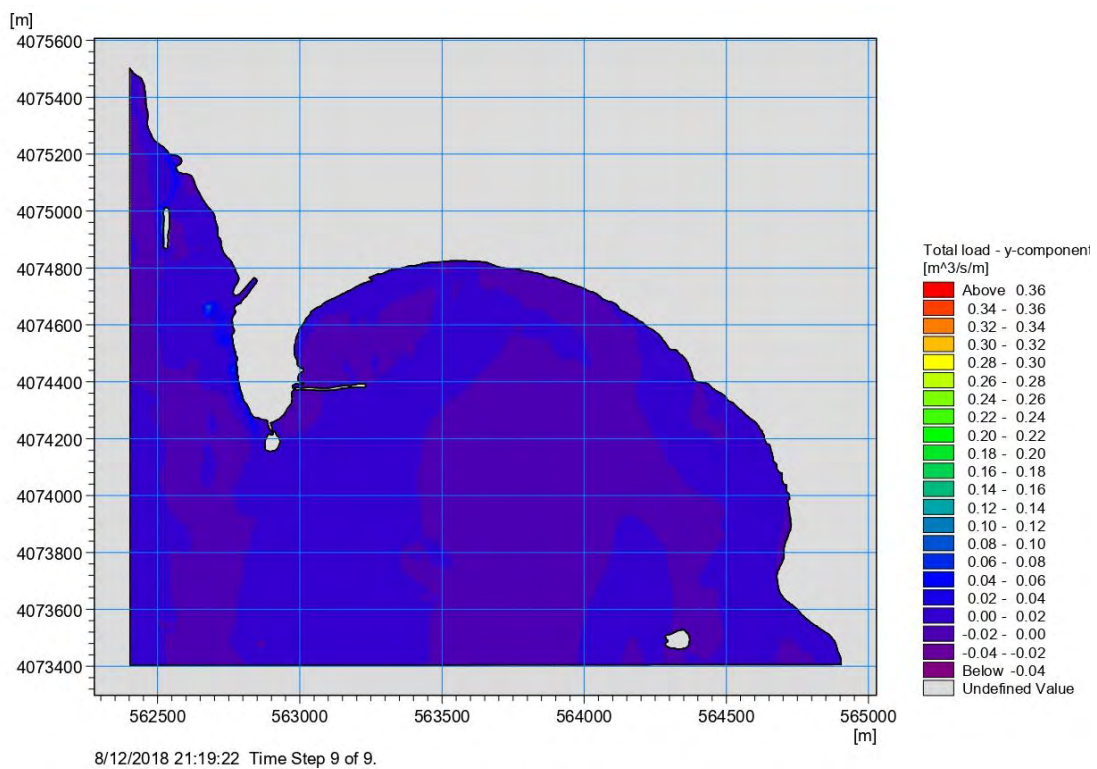
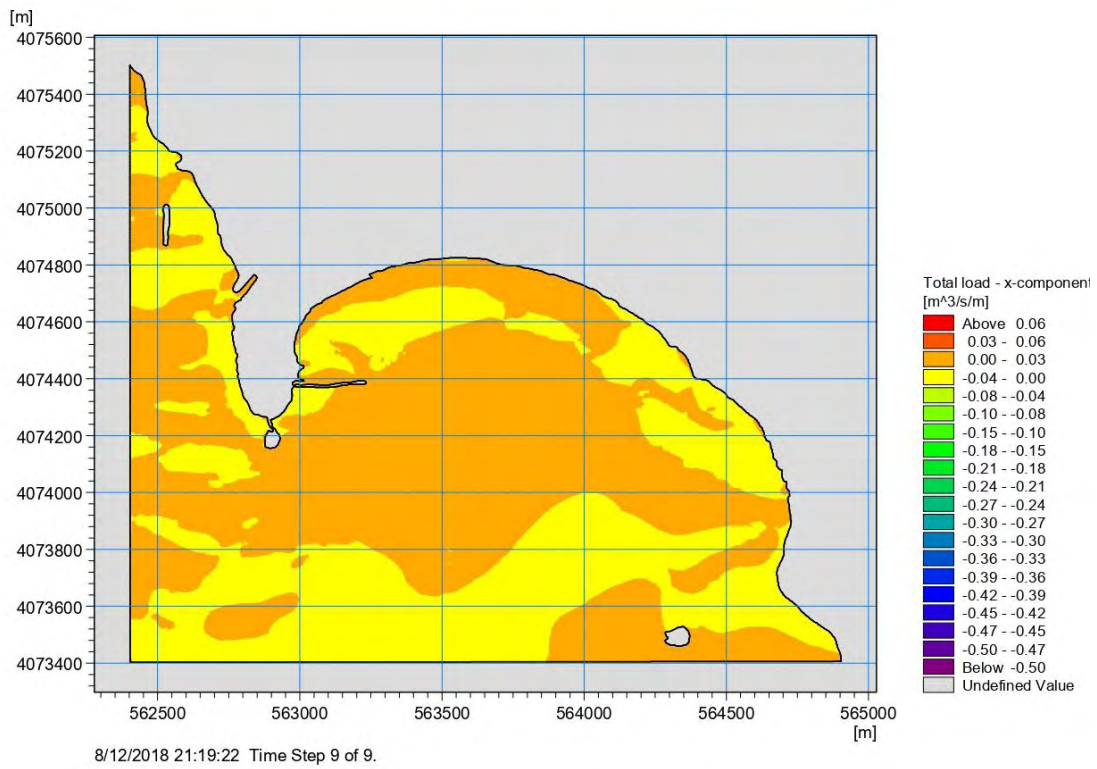
Σχήμα 5.2. 6 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νότιο άνεμο 6 BF (Σενάριο)

5.2.2 Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο

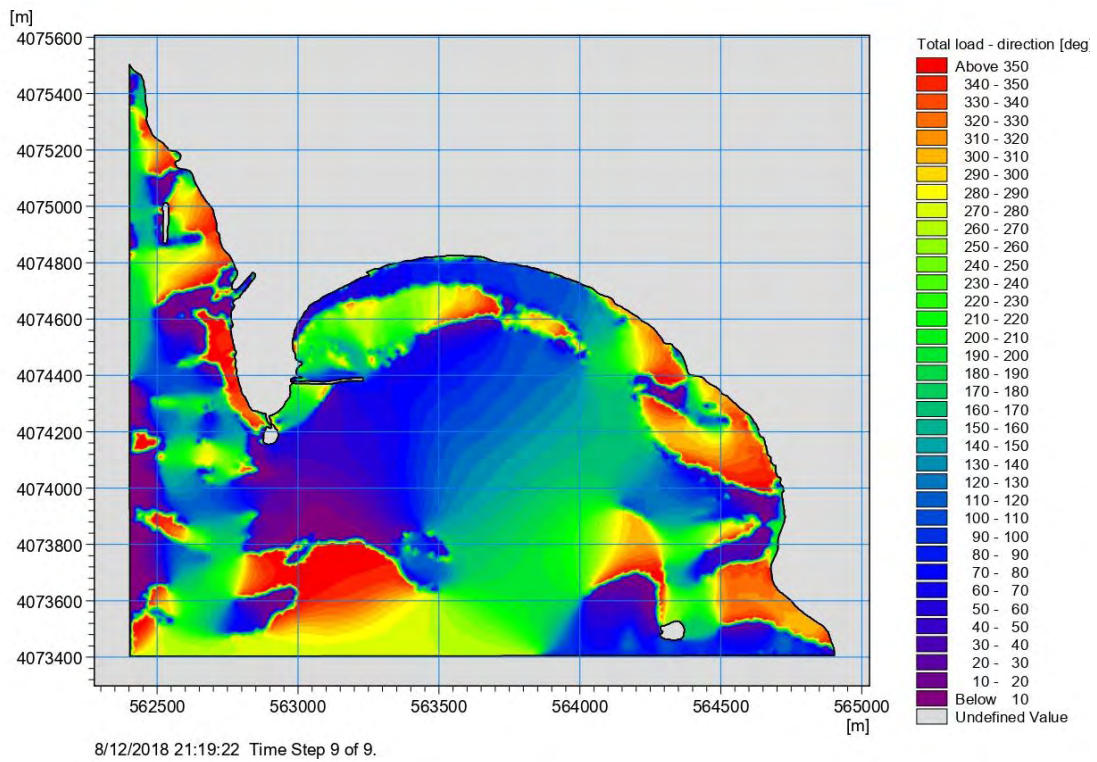
5.2.2.1 Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο έντασης 5 Μποφόρ



Σχήμα 5.2. 7 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Δυτικό άνεμο 5 BF (Σενάριο)

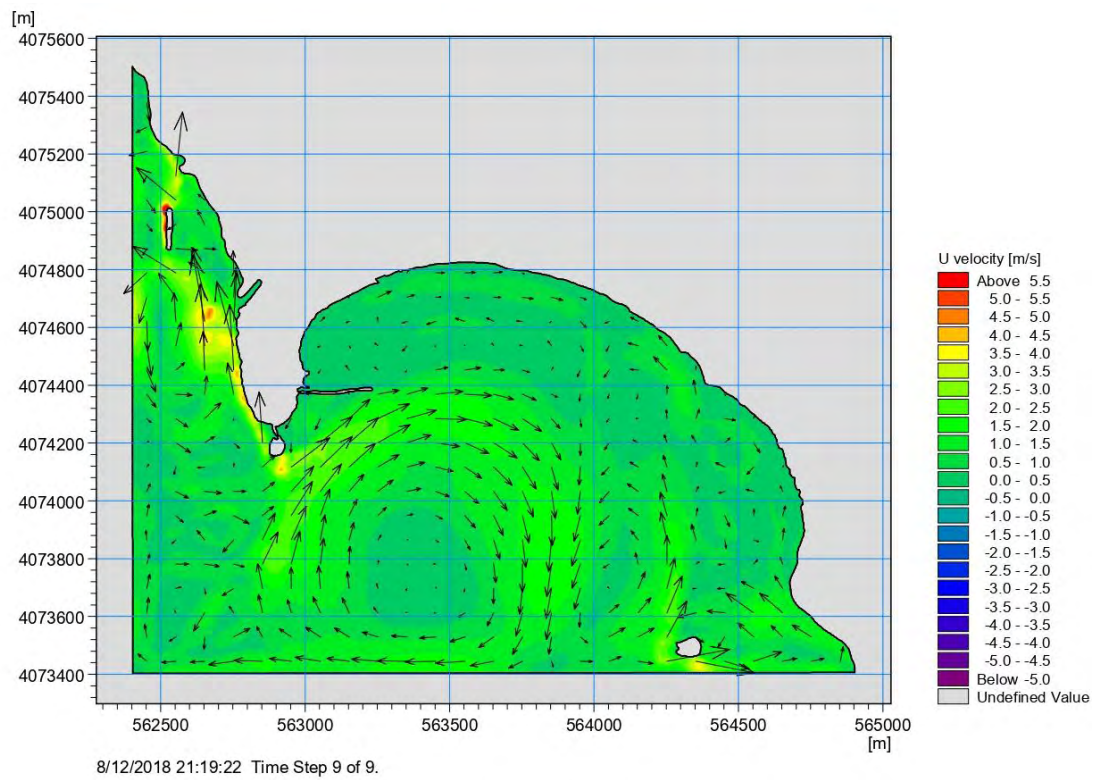


Σχήμα 5.2. 8 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά x και y για Δυτικό άνεμο 5 BF (Σενάριο)

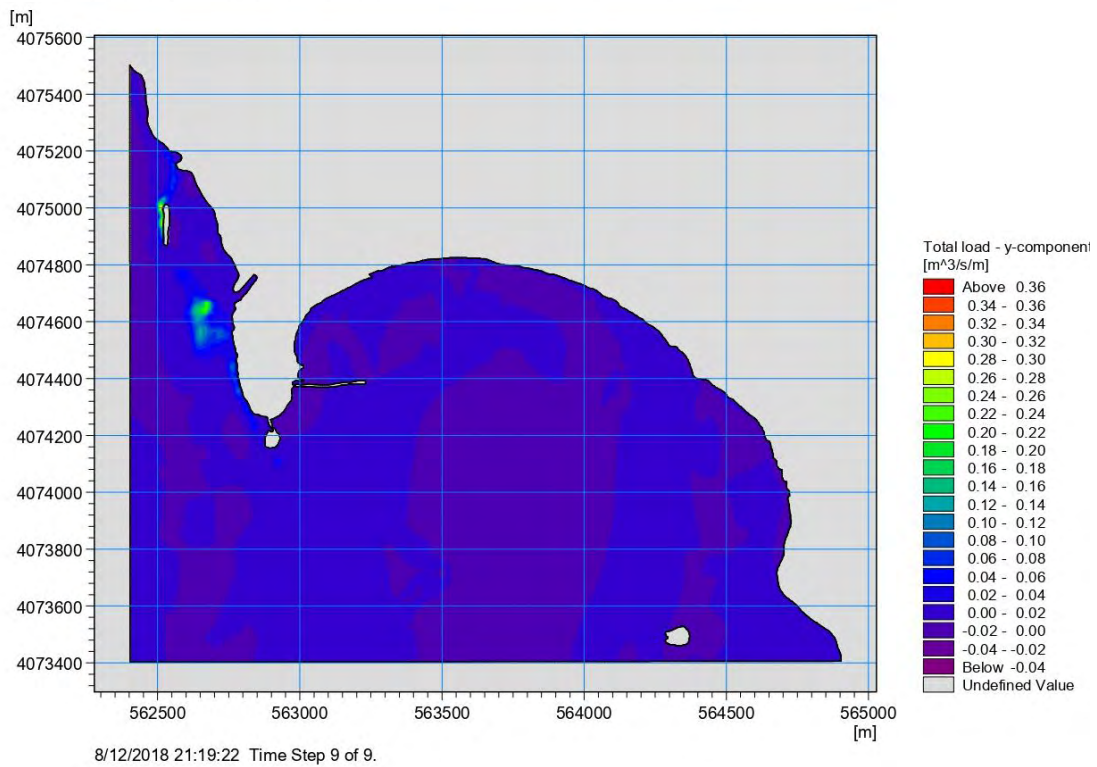
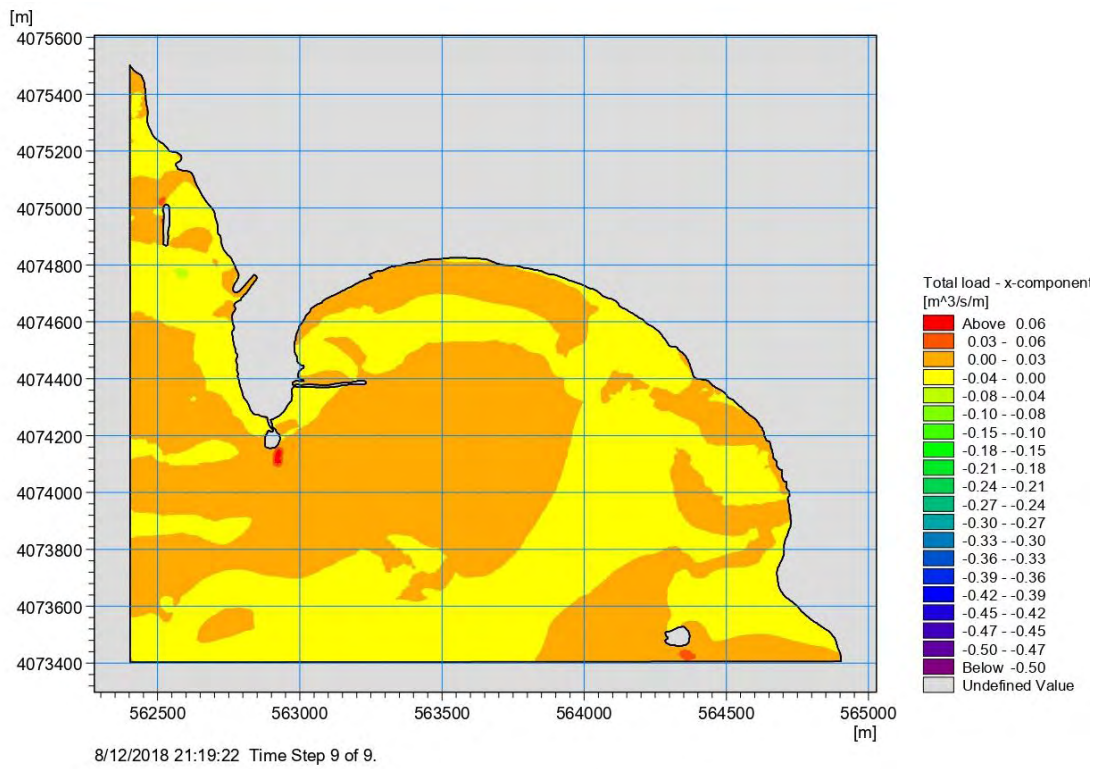


Σχήμα 5.2. 9 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Δυτικό άνεμο 5 BF (Σενάριο)

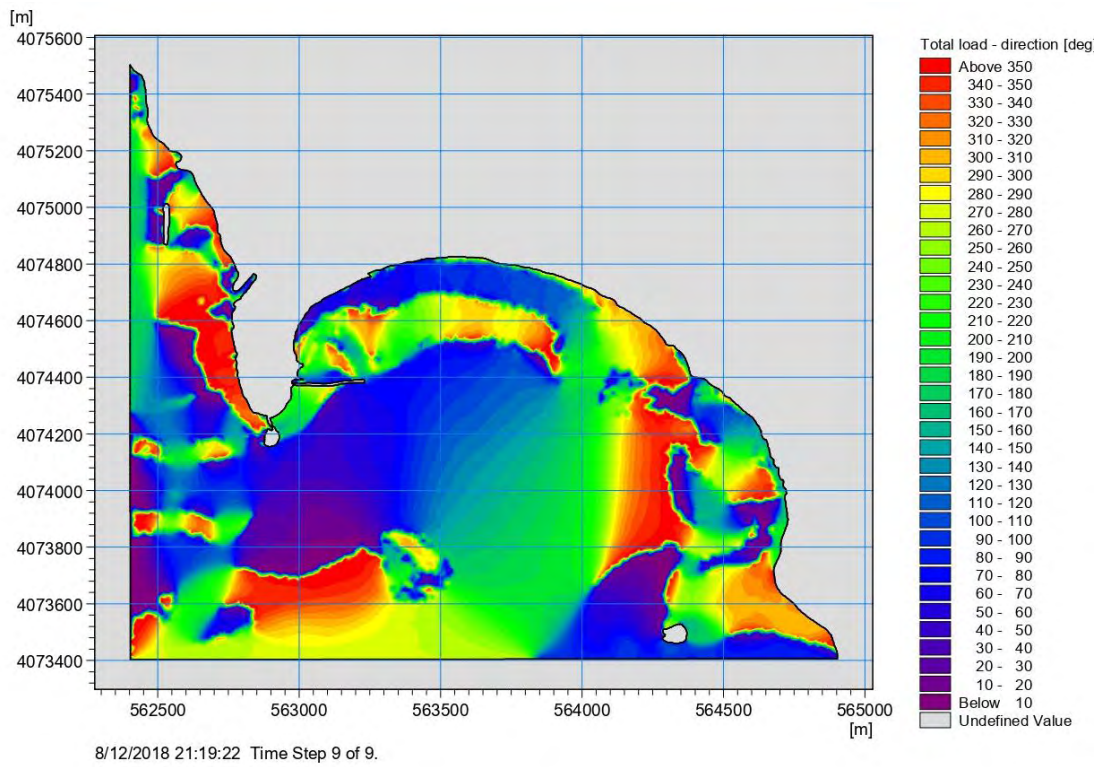
5.2.2.2 Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο έντασης 6 Μποφόρ



Σχήμα 5.2. 10 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Δυτικό άνεμο 6 BF (Σενάριο)

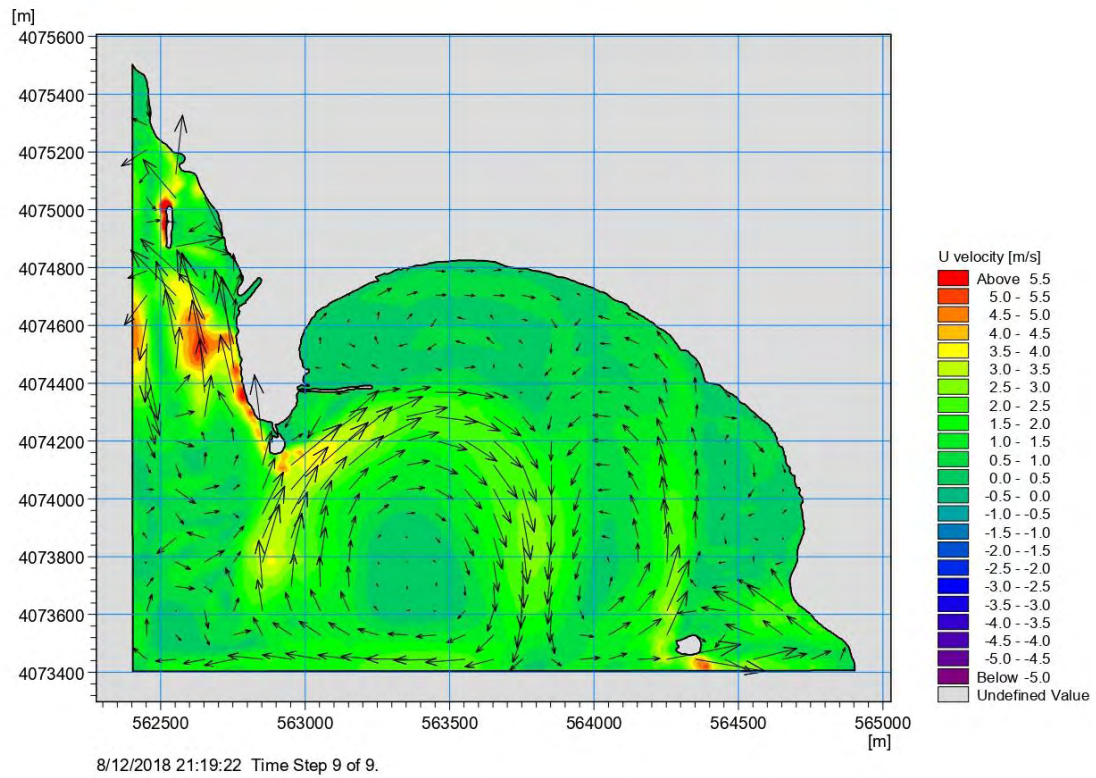


Σχήμα 5.2. 11 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και γ για Δυτικό άνεμο 6 BF (Σενάριο

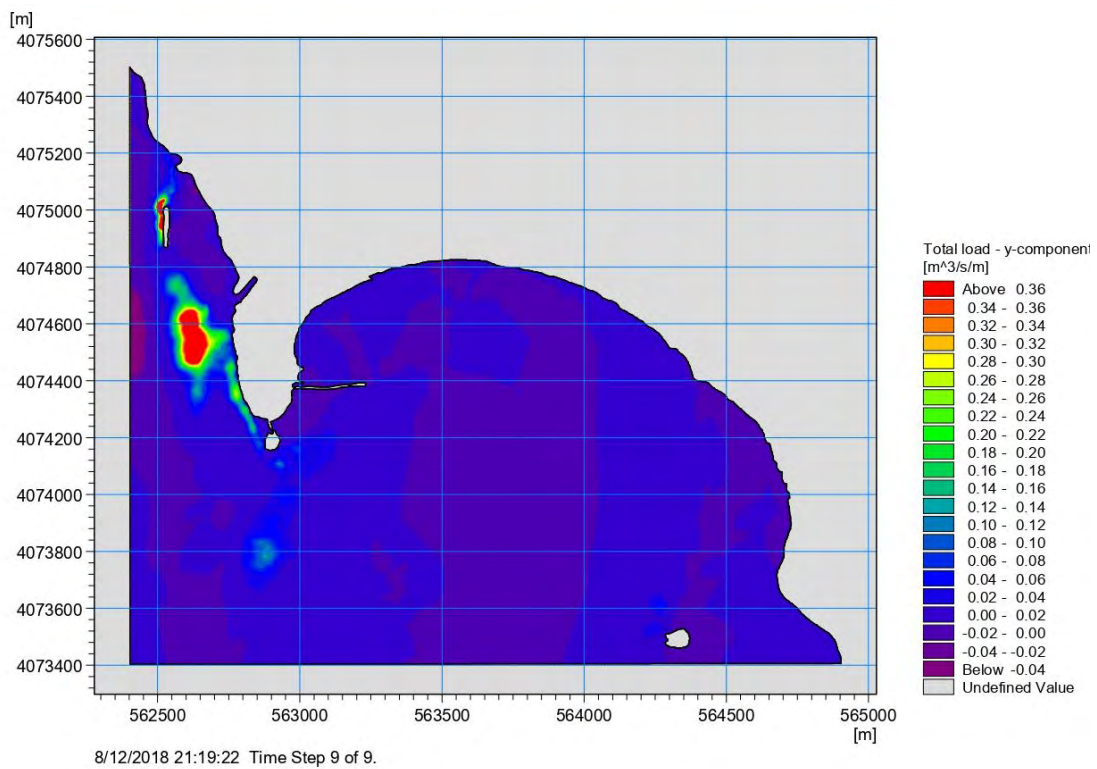
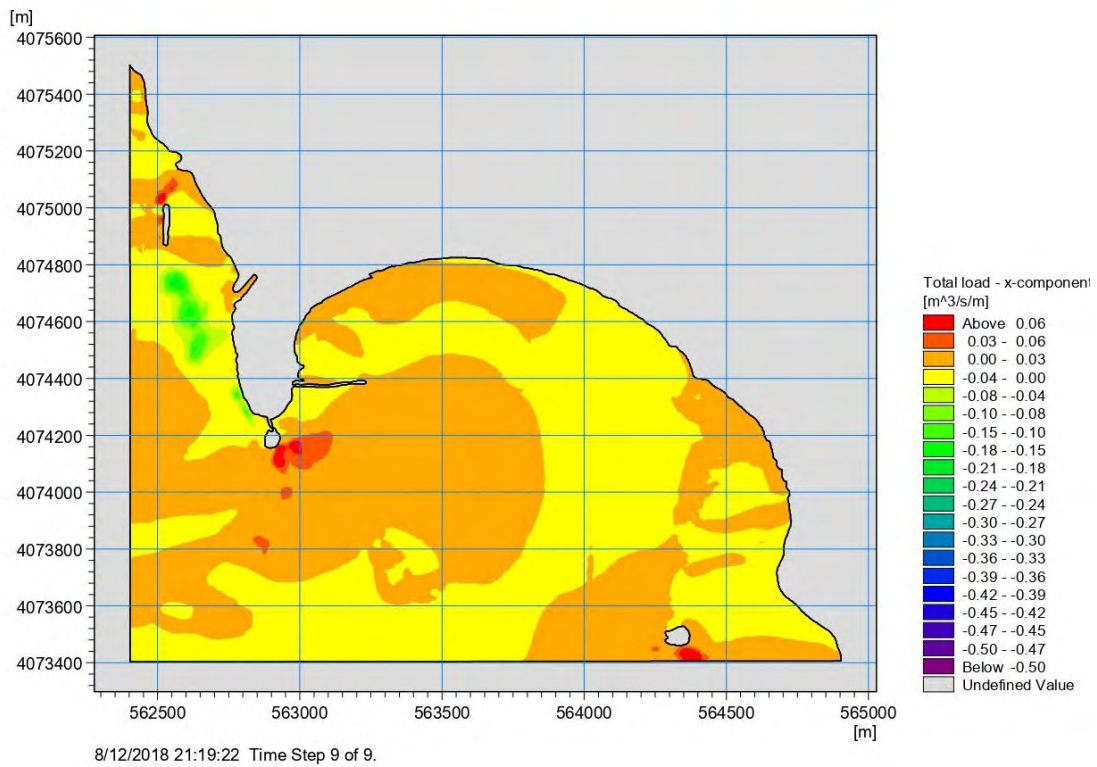


Σχήμα 5.2. 12 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Δυτικό άνεμο 5 BF (Σενάριο)

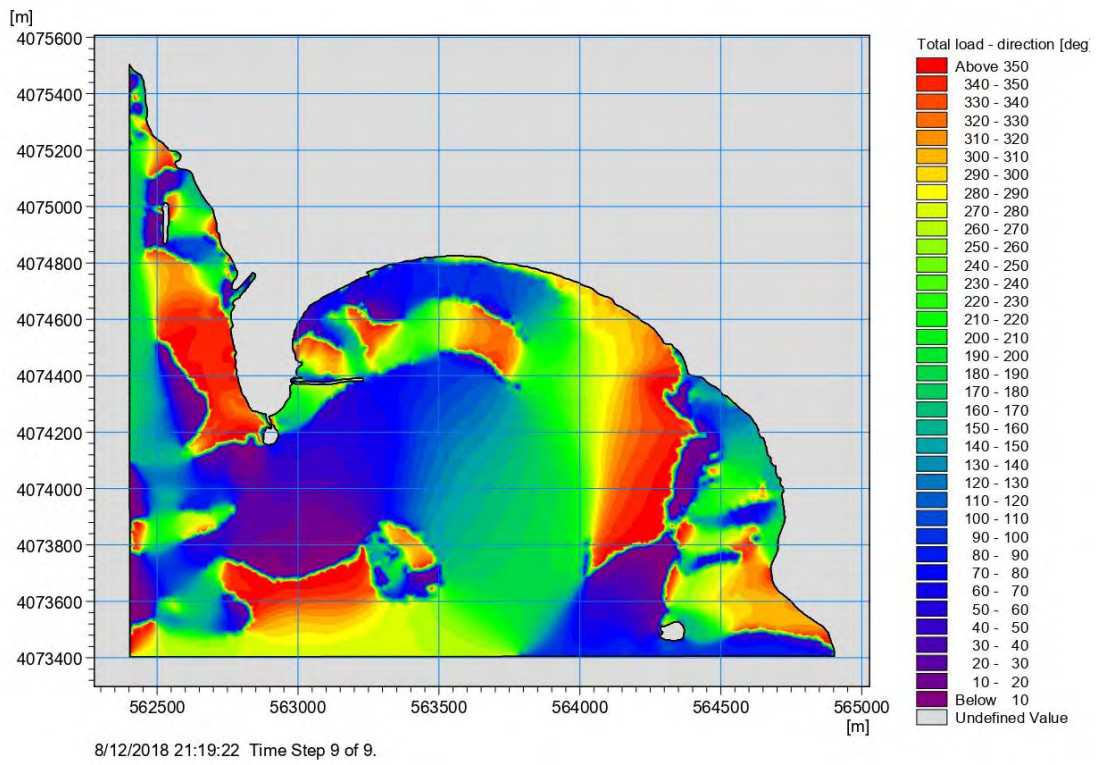
5.2.2.3 Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο έντασης 7 Μποφόρ



Σχήμα 5.2. 13 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Δυτικό άνεμο 7 BF (Σενάριο)

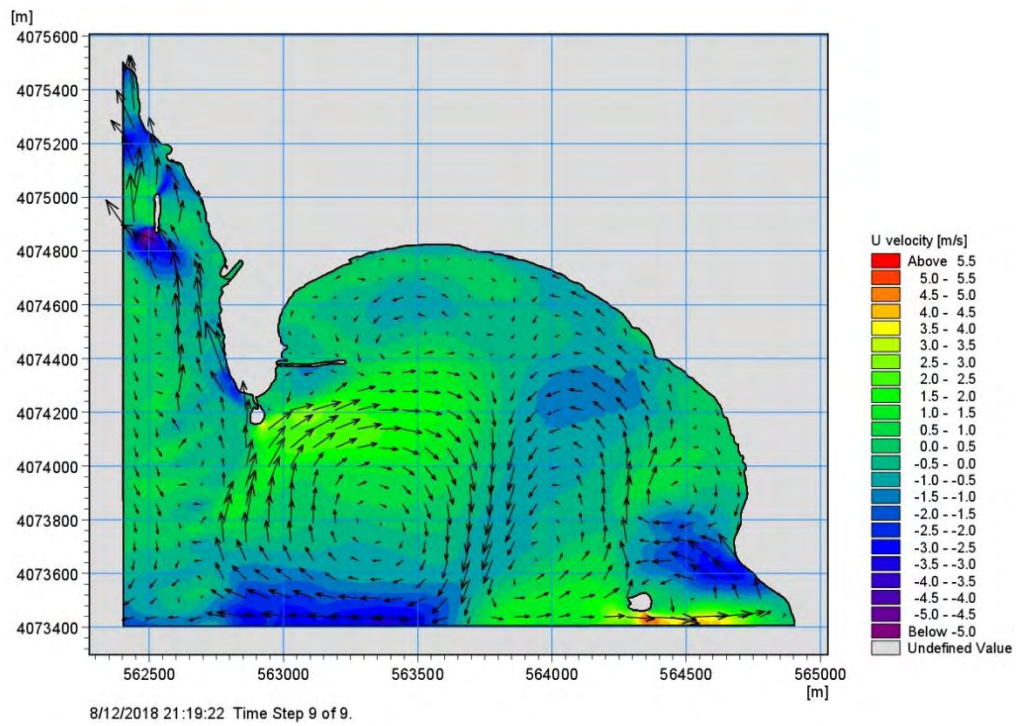


Σχήμα 5.2. 14 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά x και y για Δυτικό άνεμο 7 BF (Σενάριο)

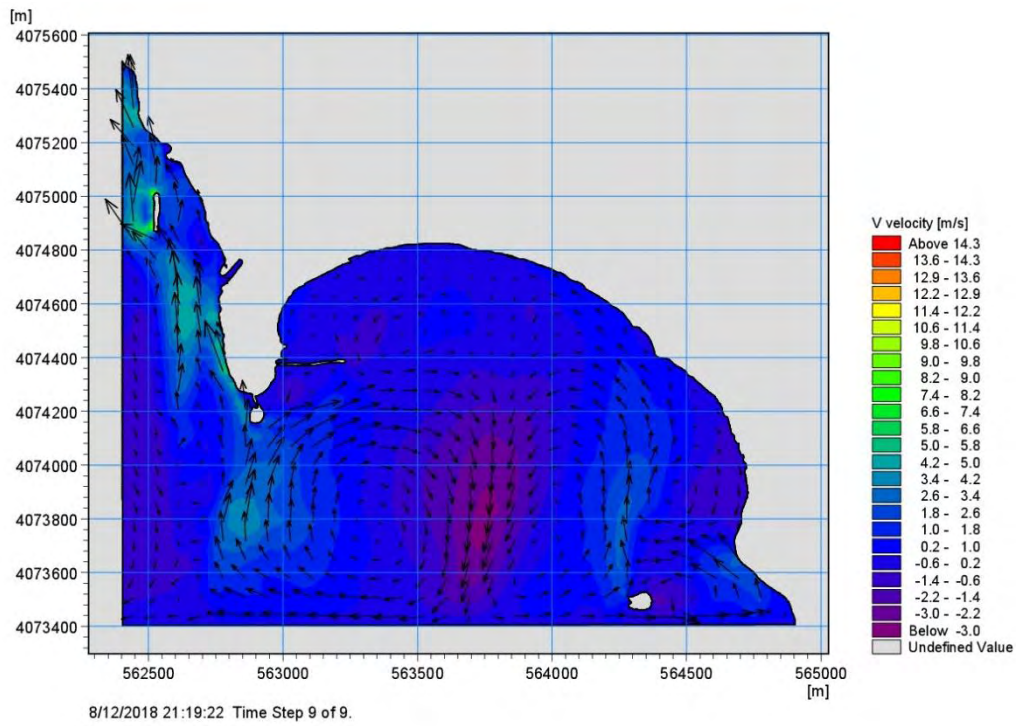


Σχήμα 5.2. 15 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Δυτικό άνεμο 6 BF (Σενάριο)

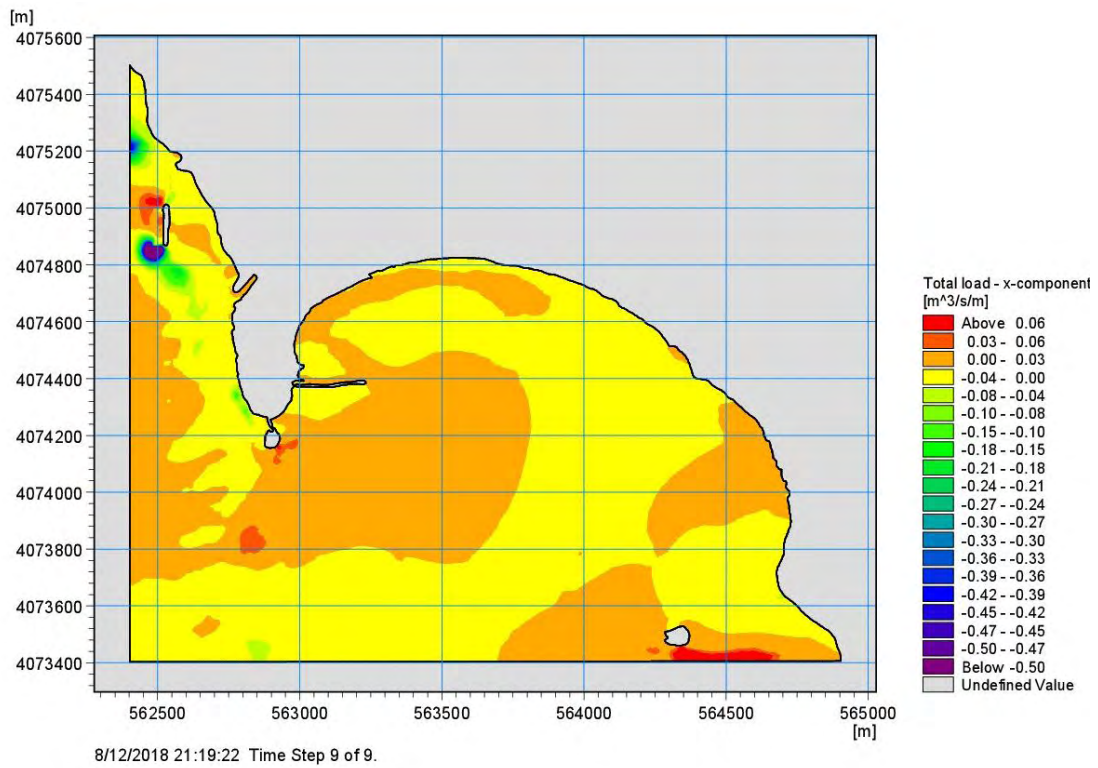
5.2.2.4 Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο έντασης 8 Μποφόρ

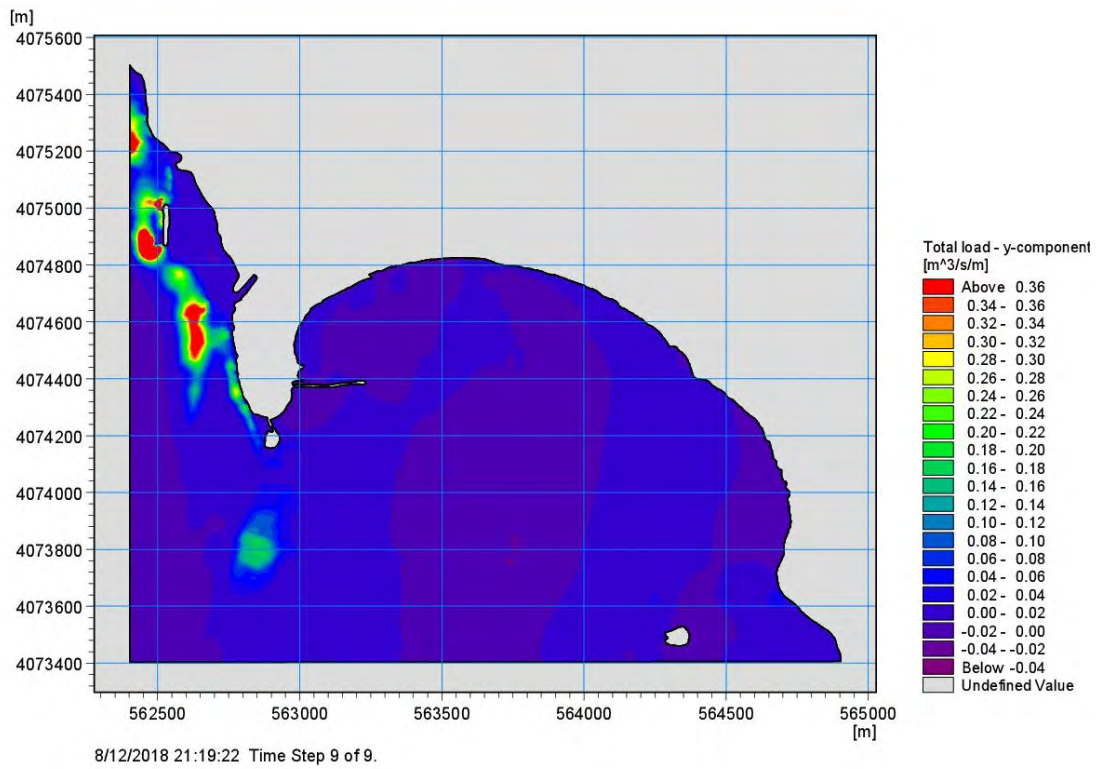


Σχήμα 5.2. 16 Χωρική κατανομή της ταχύτητας κατά χ για Δυτικό άνεμο 8 BF (σενάριο)

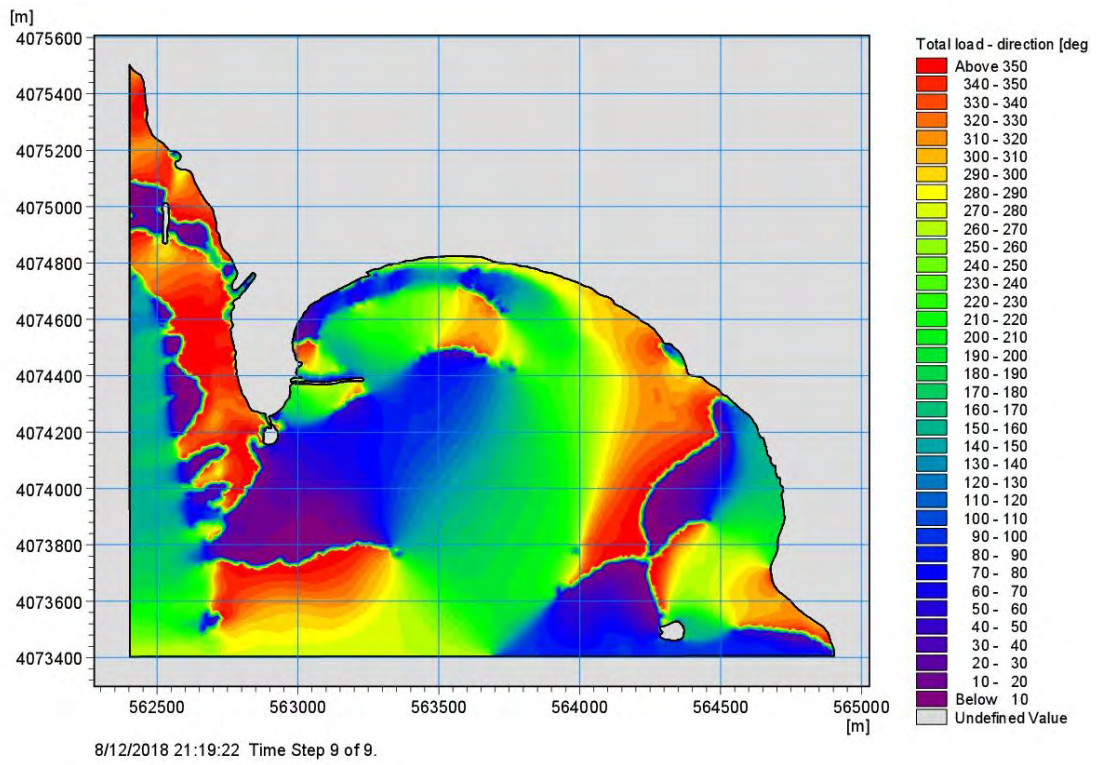


Σχήμα 5.2. 17 Χωρική κατανομή της ταχύτητας κατά y για Δυτικό άνεμο 8 BF (σενάριο)





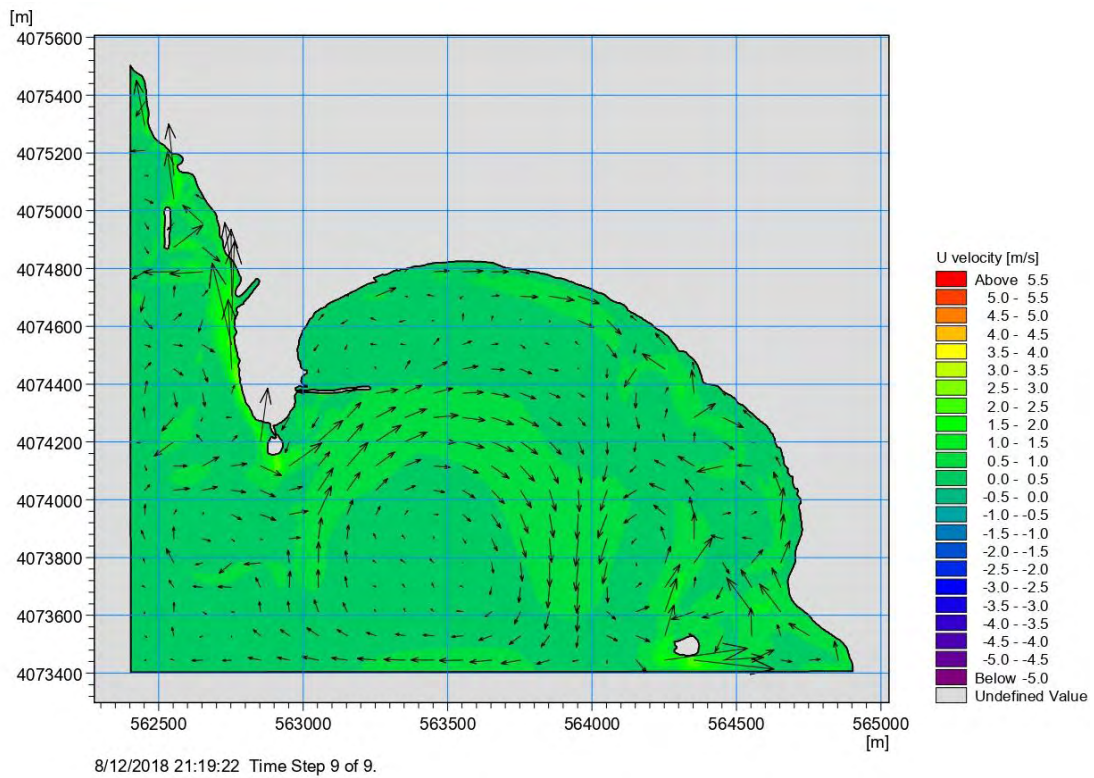
Σχήμα 5.2. 18 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά x και y για Δυτικό άνεμο 8 BF (σενάριο)



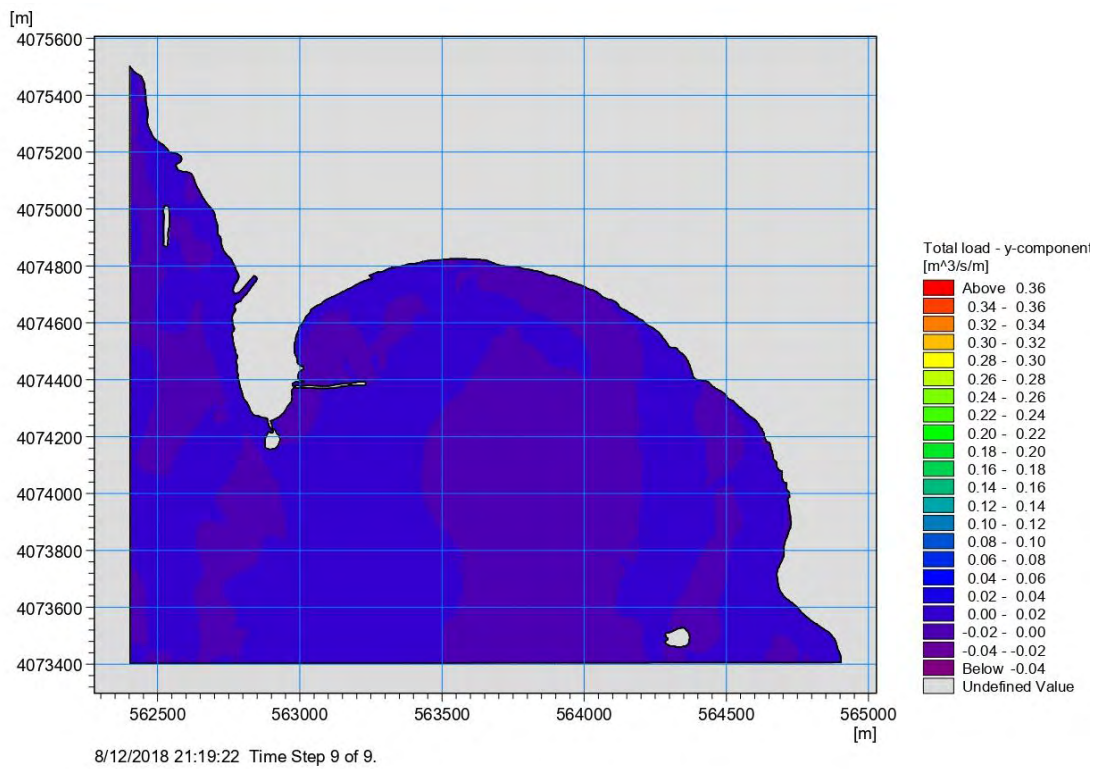
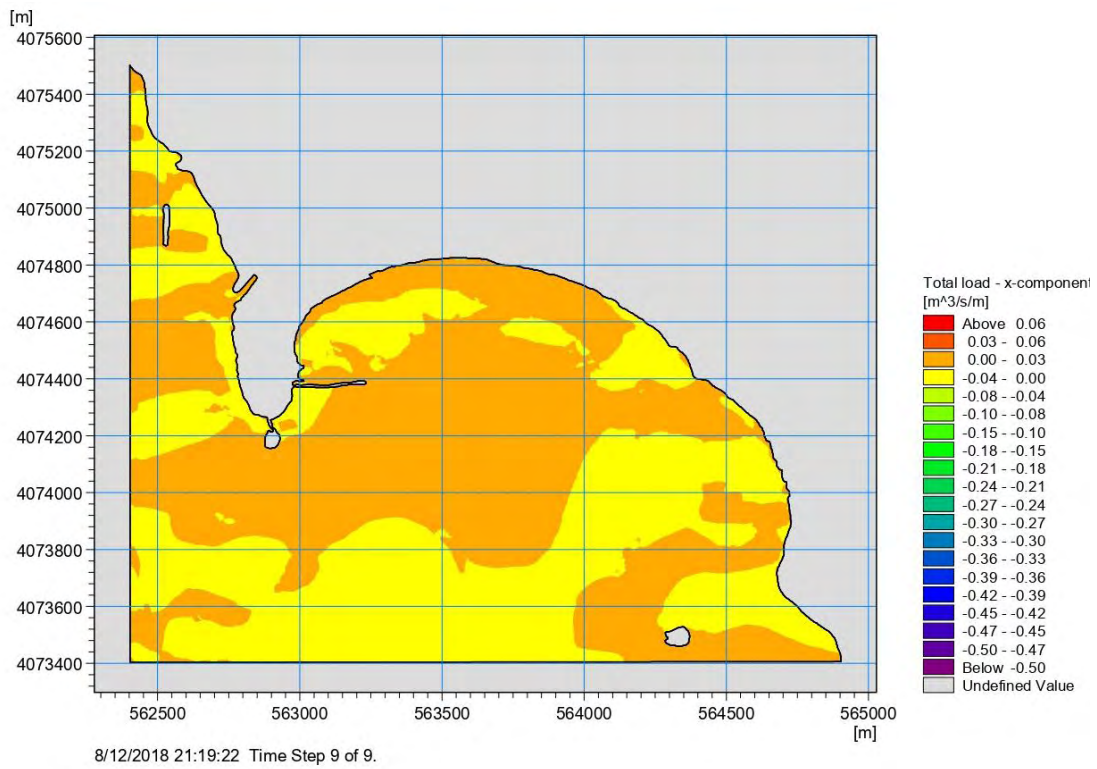
Σχήμα 5.2. 19 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Δυτικό άνεμο 8 BF (σενάριο)

5.2.3 Αποτελέσματα για Νοτιοδυτικό άνεμο

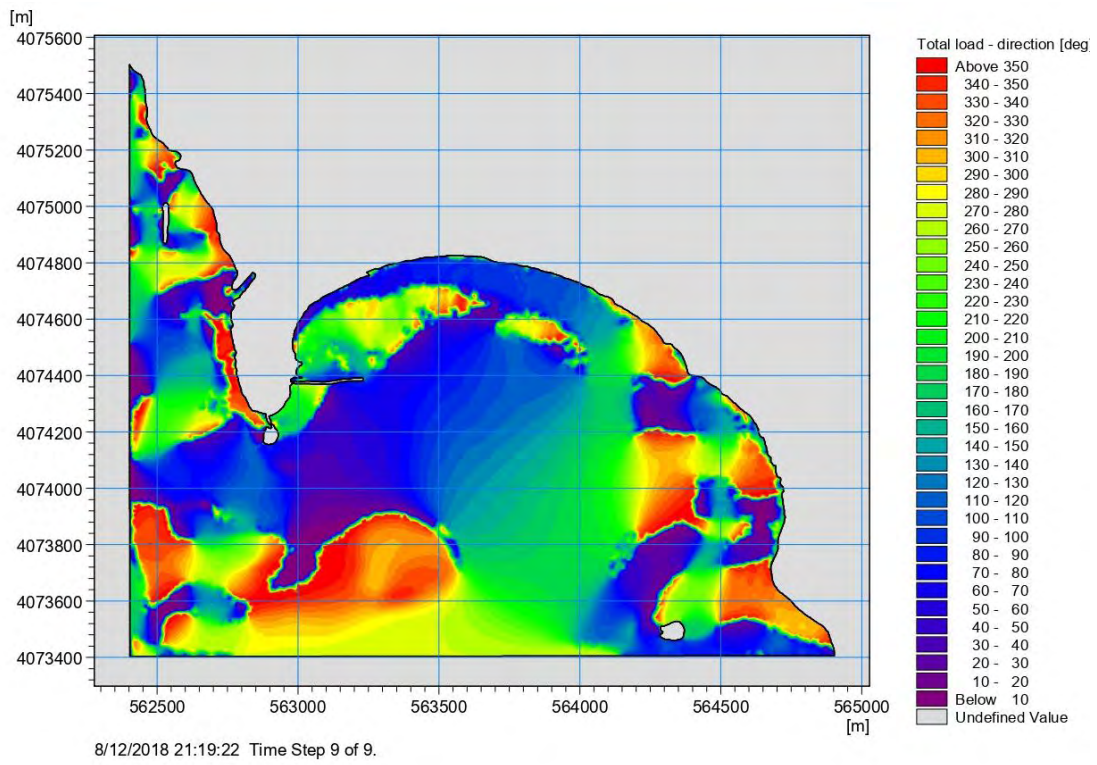
5.2.3.1 Αποτελέσματα για Νοτιοδυτικό άνεμο έντασης 5 Μποφόρ



Σχήμα 5.2. 2D Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Νοτιοδυτικό άνεμο 5 BF (Σενάριο)

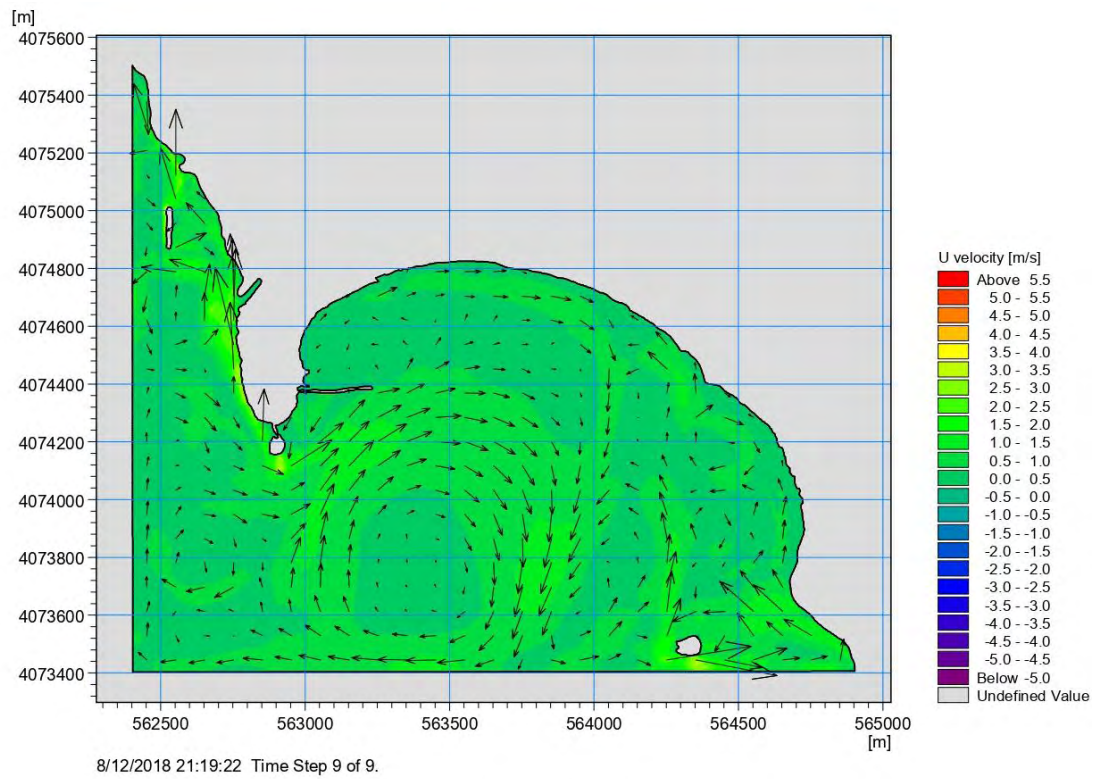


Σχήμα 5.2. 21 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά x και y για Νοτιοδυτικό άνεμο 5 BF (Σενάριο)

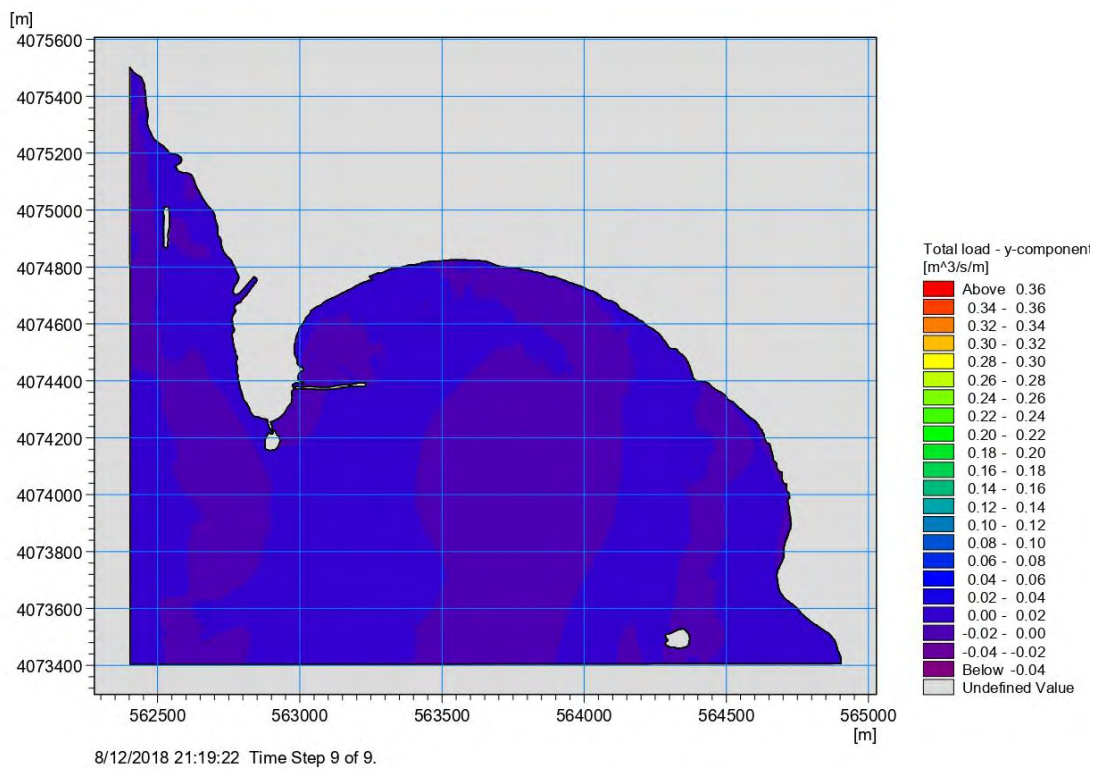
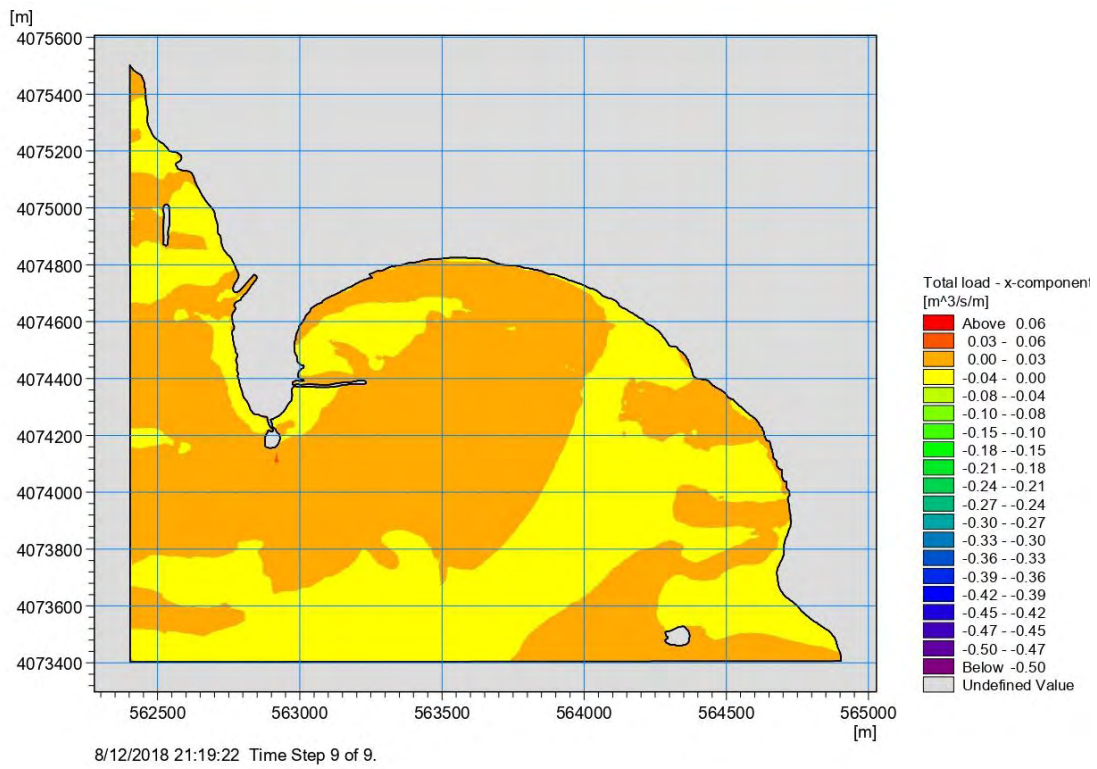


Σχήμα 5.2. 22 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νοτιοδυτικό άνεμο 5 BF (Σενάριο)

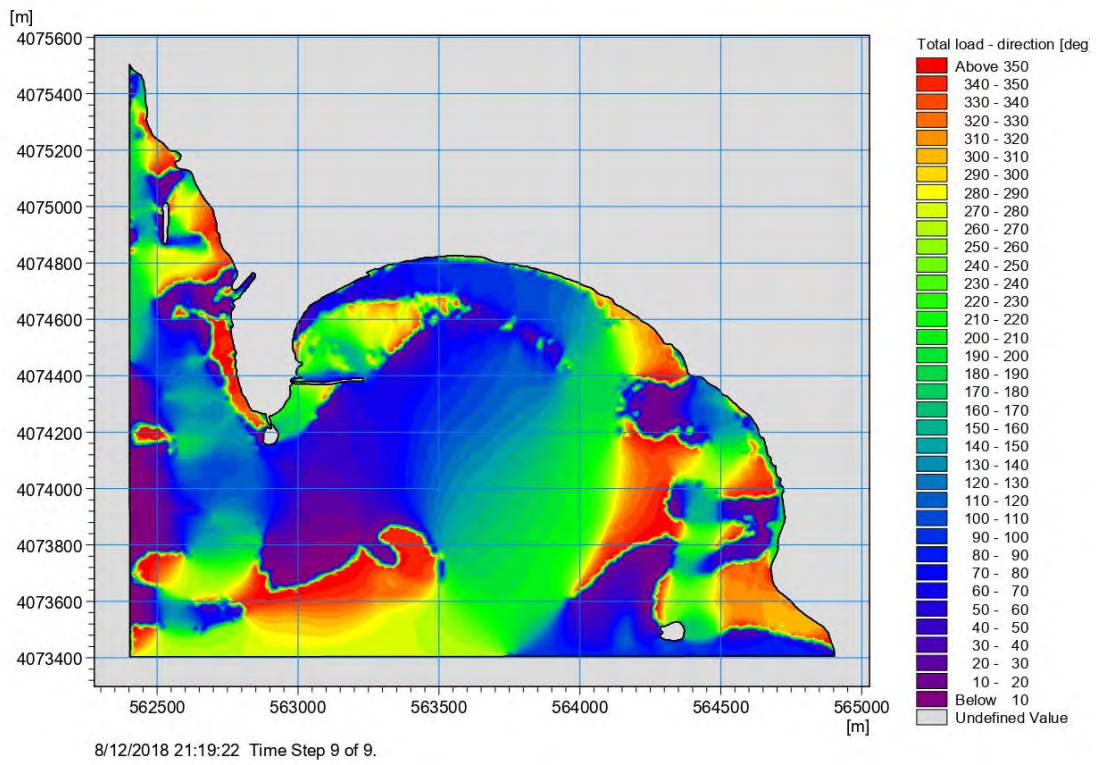
5.2.3.2 Αποτελέσματα για Νοτιοδυτικό άνεμο έντασης 6 Μποφόρ



Σχήμα 5.2. 23 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Νοτιοδυτικό άνεμο 6 BF (Σενάριο)

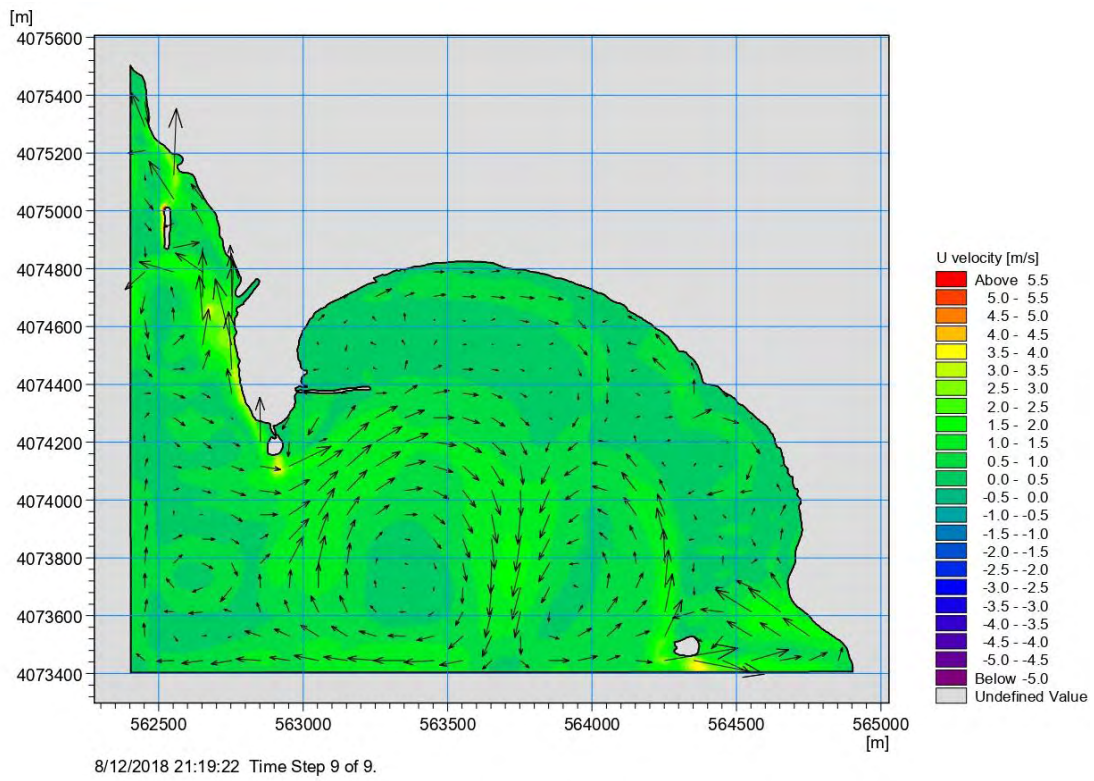


Σχήμα 5.2. 24 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά x και y για Νοτιοδυτικό άνεμο 6 BF (Σενάριο)

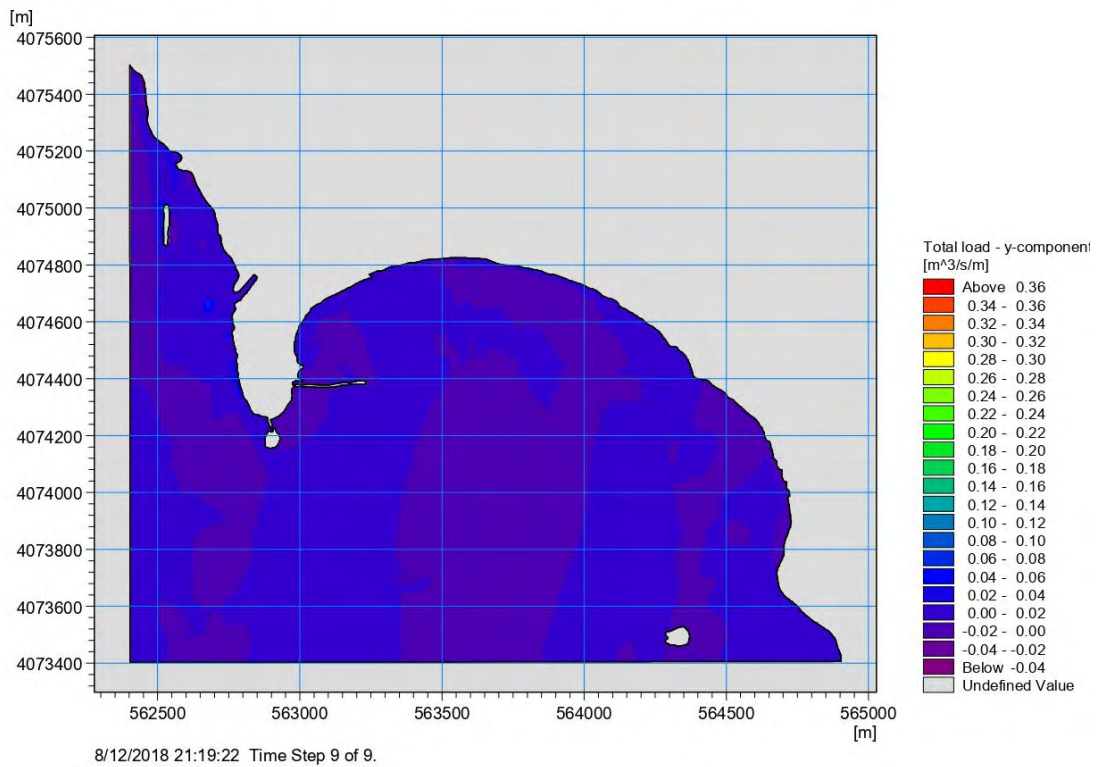
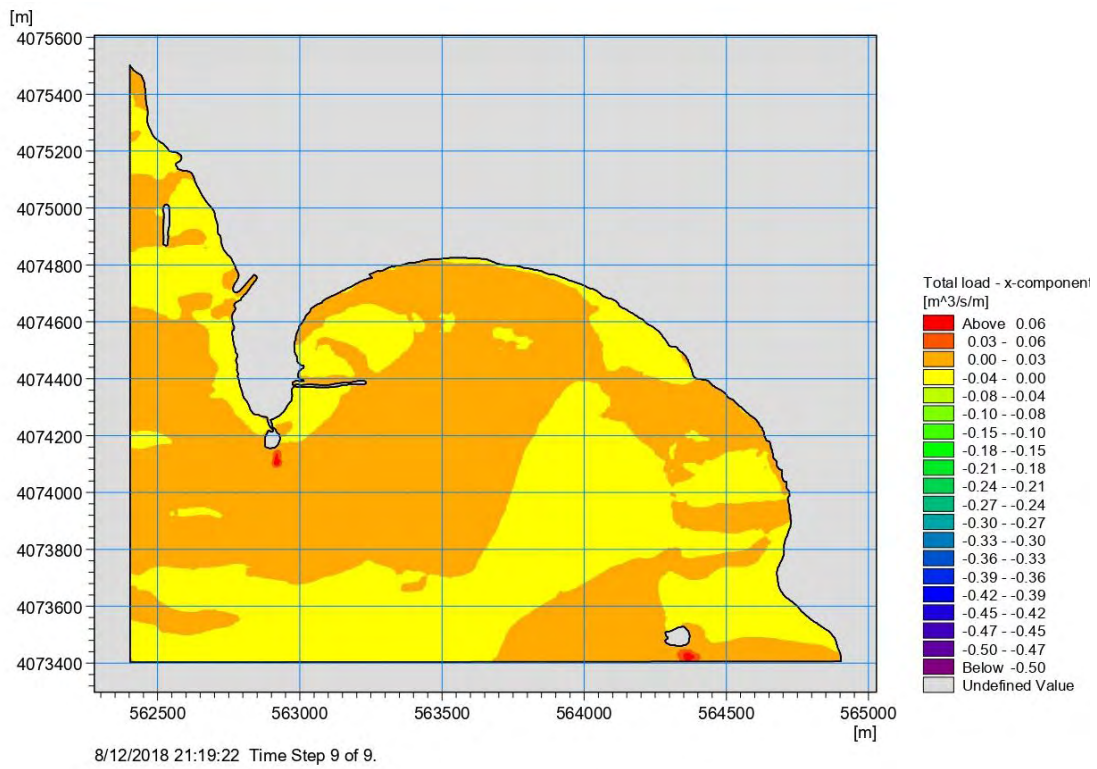


Σχήμα 5.2. 25 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νοτιοδυτικό άνεμο 6 BF (Σενάριο)

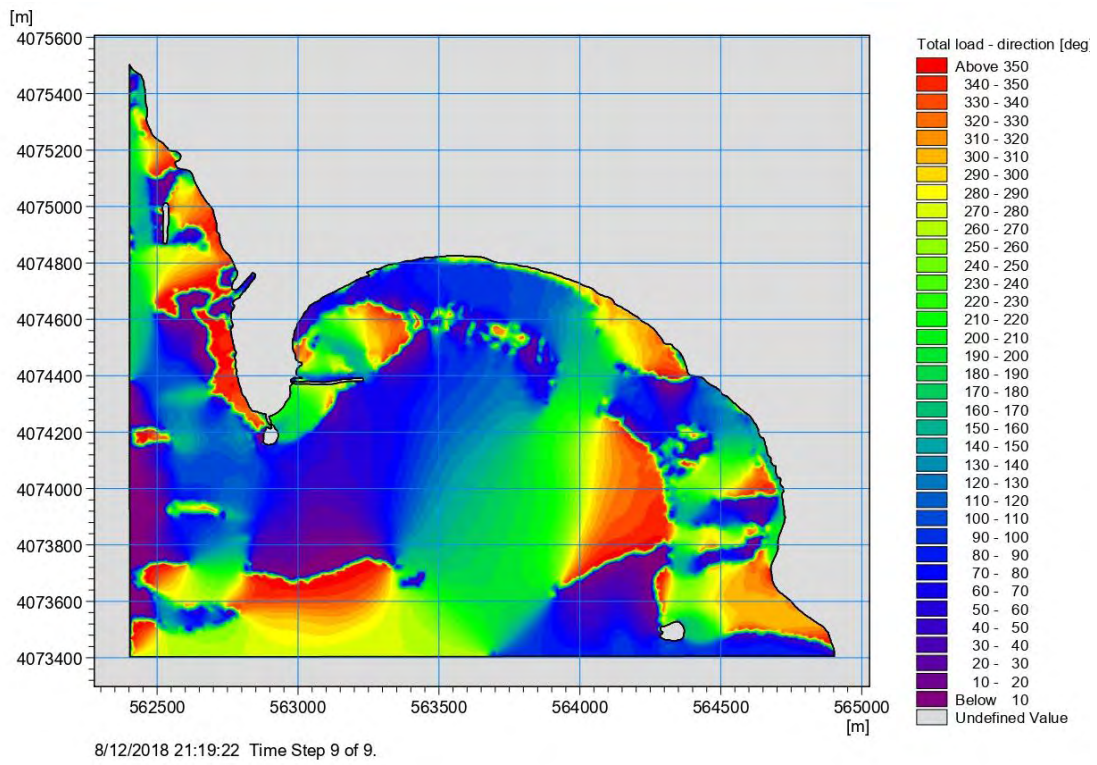
5.2.3.3 Αποτελέσματα για Νοτιοδυτικό άνεμο έντασης 7 Μποφόρ



Σχήμα 5.2. 26 Χωρική κατανομή της ταχύτητας ρεύματος για Νοτιοδυτικό άνεμο 7 BF (Σενάριο)



Σχήμα 5.2. 27 Χωρική κατανομή της στερεομεταφοράς κατά χ και γ για Νοτιοδυτικό άνεμο 7 BF (Σενάριο)



Σχήμα 5.2. 28 Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του συνολικού όγκου στερεομεταφοράς για Νοτιοδυτικό άνεμο 7 BF (Σενάριο)

5.2.4.2 Αποτέλεσμα για Δυτικό άνεμο

Πίνακας 16 Ετήσια στερεομεταφορά για Δυτικό άνεμο (Σενάριο)

Έκταση (Bf)	Ρυθμός στερεομεταφοράς (m ² /s/m)				Στερεομεταφορά (m ² /έτος)				Συνιστάμενη στερεομεταφορά (m ² /έτος)		Τελική στερεομεταφορά (m ² /έτος)	Συνολική επίρροια (m ² /έτος)
	κατά Χ	κατά Υ	κατά Χ	κατά Υ	κατά Χ	κατά Υ	κατά Χ	κατά Υ	θετική	αρνητική		
5	0,000602	-0,000101	0,000205	-0,000139	88552,10408	-14856,74836	33213,96749	-22520,69015	94576,12158	-26979,70453	67596,41705	97804,06583
6	0,000525	-0,000117	0,000215	-0,000162	38367,22189	-8550,409449	17306,29139	-13040,08933	42089,80205	-15593,37781	26496,42425	
7	0,00058	-0,000127	0,000253	-0,000164	4890,52404	-1070,856126	2349,700056	-1523,125728	5425,708778	-1861,892807	3563,81597	
8	0,00059	-0,000135	0,000281	-0,000502	3158,23178	-722,6442864	477,5736154	-2959,777221	3194,127455	-3046,718885	147,40857	

Δυτικός

5.2.4.3 Αποτέλεσμα για Νοτιοδυτικό άνεμο

Πίνακας 17 Ετήσια στερεομεταφορά για Νότιοδυτικό άνεμο (Σενάριο)

Ένταση (Bf)	Ρυθμός στερεομεταφοράς (m ³ /s/m)				Στερεομεταφορά (m ³ /έτος)				Συνιστάμενη στερεομεταφορά (m ³ /έτος)		Τελική στερεομεταφορά (m ³ /έτος)	Συνολική επίπτωση (m ³ /έτος)
	κατά Χ max θετικός	κατά Χ max αρνητικός	κατά Υ max θετικός	κατά Υ max αρνητικός	κατά Χ max θετική	κατά Χ max αρνητική	κατά Υ max θετική	κατά Υ max αρνητική	θετική	αρνητική		
5	0,000404	-0,000087	0,000108	-0,000071	10219,50886	-2200,735818	3009,102048	-1978,205976	10653,31199	-2959,144644	7694,167348	10178,64497
6	0,000336	-0,000073	0,000021	-0,000041	2777,12134	-569,4658927	180,4382698	-352,284241	2782,576986	-669,6234684	2113,353518	
7	0,000445	-0,000077	0,000159	-0,000103	484,15644	-83,775384	190,540512	-123,431904	520,3010139	-149,176908	371,1241059	
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

5.3 Αποτελέσματα με χρήση εμπειρικών εξισώσεων σε περιβάλλον Matlab

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλύθηκαν οι ανεμογενείς κυματισμοί και όλα τους τα χαρακτηριστικά με χρήση εμπειρικών εξισώσεων σε περιβάλλον Matlab. Βάσει της συχνότητας εμφάνισης τα χαρακτηριστικά θραύσης υπολογίστηκαν και για τις τρεις κατευθύνσεις των ανέμων που προκαλούν τη γένεση των κυματισμών και παρουσιάζονται στους Πίνακα 17, Πίνακα 18 και Πίνακα 19.

Έχοντας υπολογίσει όλα τα ισοδύναμα μήκη αναπτύγματος, μπορεί υπολογιστεί για κάθε σημαντικό άνεμο και κάθε επιμέρους ταχύτητα, τα αντίστοιχα ύψη και βάθη θραύσης.

Αρχικά, υπολογίστηκε η Ρυθμιστική ταχύτητα λόγω μη γραμμικής σχέσης ταχύτητας ανέμου και διατμητικής τάσης:

$$Ua = 0.71 U^{1.23}$$

Στη συνέχεια, περάσαμε στην πρόγνωση κυματισμών με τη χρήση ενεργειακών φασμάτων.

Πραγματοποιούμε τον πρώτο έλεγχο με βάση την ανισότητα:

$$\frac{gF}{Ua^2} \geq 22.8 \cdot 10^3$$

Εφόσον η παραπάνω ανισότητα επαληθεύεται, οι κυματισμοί έχουν πλήρη ανάπτυξη, συνεπώς ισχύει το ενεργειακό φάσμα PM (Pierson - Moskowitz).

Υπολογίζουμε το σημαντικό ύψος κύματος H_s στα βαθιά νερά και της περιόδου κορυφής του φάσματος T_p :

$$a \frac{H_s}{Ua^2} = 0.243 \text{ και } g \frac{T_p}{Ua} = 8.13$$

Στην περίπτωση, όμως, που δεν επαληθεύονταν η ανισότητα, γίνεται εφαρμογή του ενεργειακού φάσματος JONSWAP.

Πραγματοποιούμε τον έλεγχο με βάση την ανισότητα:

$$\frac{gt_D}{Ua} > 68.8 \cdot \left(\frac{F}{Ua^2}\right) \cdot 0.66$$

Έπειτα υπολογίζουμε το σημαντικό ύψος κύματος H_s στα βαθιά νερά και της περιόδου αιχμής του φάσματος T_p :

$$g \frac{H_s}{Ua^2} = 0.0016 \cdot \left(\frac{gF}{Ua^2}\right)^{0.5} \text{ και } g \cdot \frac{T_p}{Ua} = 0.286 \cdot \left(\frac{gF}{Ua^2}\right)^{0.33}$$

Η περίοδος δίνεται από τη σχέση: $T = 0.781 \cdot T_p$

Λόγω της περιορισμένης διάρκειας (Φάσμα JONSWAP), η περίοδος τελικά δίνεται από τη σχέση: $Ts = 0.95 \cdot T$

Για τα στοιχεία θραύσης του κυματισμού ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

Αρχικά, έγινε ο υπολογισμός της κυκλικής συχνότητας ω

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Και της ταχύτητας L_0 στα βαθιά: $L_0 = \frac{2\pi}{k_0}$

Στα ρηχά νερά, όμως, η εξίσωση γραμμικής διασποράς παίρνει τη μορφή:

$$\omega^2 = gk \tanh(kd)$$

Η περίοδος του κύματος δεν μεταβάλλεται από τα βαθιά νερά στα ρηχά, συνεπώς και η κυκλική συχνότητα ω παραμένει η ίδια.

Ο νέος κυματαριθμός k για τα ρηχά νερά, υπολογίζεται μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας με δοκιμές.

Υποθέσαμε, αρχικά, ότι το βάθος είναι ίσο με $d = H_{s,0} / 0.78$

Δοκιμάζουμε διάφορες τιμές του k έως ότου η τιμή της παράστασης $k \tanh(kd)$ τείνει να γίνει ίση με το $k_0 = \frac{\omega^2}{g}$.

Με το νέο k που έχουμε, υπολογίσαμε ξανά τα προηγούμενα μεγέθη για τα ρηχά νερά:

$$L = \frac{2\pi}{k} \text{ και } C = \frac{L}{T}$$

Στη συνέχεια, υπολογίσαμε τον συντελεστή ρήχωσης Ks :

$$Ks = \left(\frac{C_0}{2nC} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Όπου $n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right)$

Και τον συντελεστή διάθλασης Kr :

$$Kr = \left(\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha} \right)^{\frac{1}{2}}$$

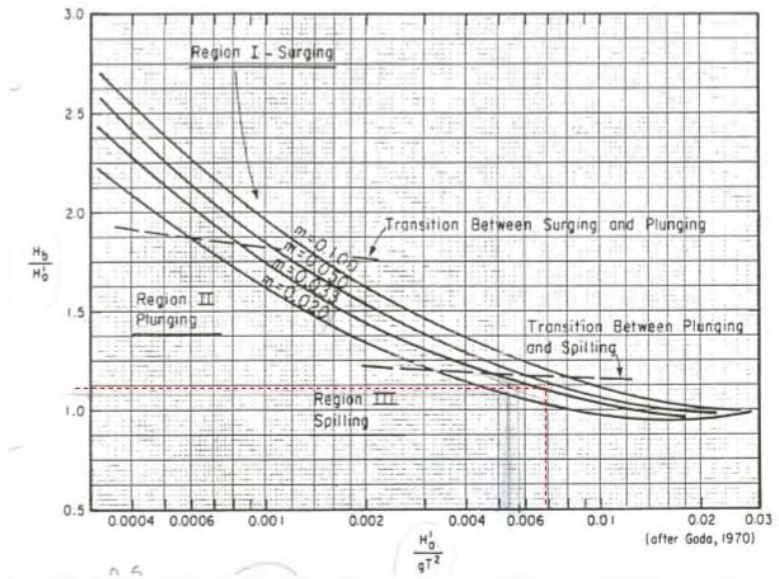
Όπου από τον Νόμο του Snell:

$$\alpha = \arcsin \left(\sin \alpha_0 \cdot \frac{C}{C_0} \right)$$

Τέλος το ύψος κύματος H διαμορφώνεται από τον τύπο:

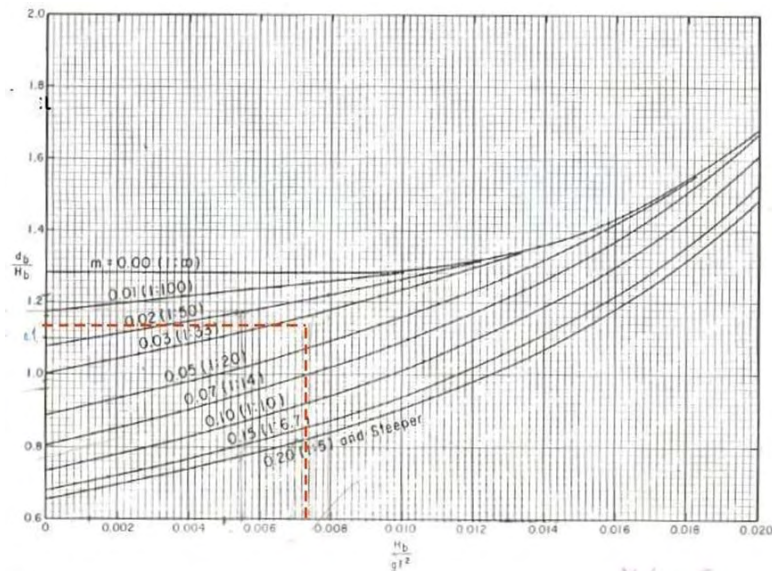
$$H = H_0 \cdot K_s \cdot K_r$$

Με τα μεγέθη που υπολογίστηκαν παραπάνω, παίρνουμε το λόγο $H/(gT)$ και με βάση την κλίση του πυθμένα 1:39, βρίσκουμε από το νομογράφημα ύψους θραύσης το λόγο H_b/H :



Εικόνα 50 Νομογράφημα ύψους θραύσης

Και έπειτα από το νομογράφημα βάθους θραύσης βρίσκουμε το βάθος θραύσης d_b :



Εικόνα 51 Νομογράφημα βάθους θραύσης

Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε μέχρι να συγκλίνει το d_b με το εκάστοτε d κάθε επανάληψης. Η παροχή μεταφοράς φερτών υπολογίστηκε βάσει του Kamphuis (1991):

$$Q = 6.4 \cdot 10^4 \cdot H_{s,b}^2 \cdot T_p^{1.5} \cdot m^{0.75} \cdot dm^{-0.25} \cdot \sin^{0.6}(2a_b)$$

Η μεταφορά φερτών δε «βλέπει» τη διαμόρφωση του λιμένα παρά μόνο την κλίση του πυθμένα και τα χαρακτηριστικά των κυματισμών. Συνεπώς αποτελεί ένα χονδρικό αποτέλεσμα της μεταφοράς φερτών.

Αυτή η μεθοδολογία εκπονήθηκε σε περιβάλλον Matlab, του οποίου ο κώδικας παρατίθεται στο παράρτημα.

5.3.1 Αποτελέσματα για Νότιο άνεμο

Ένταση (BF)	Στοιχεία θραύσης (m)		Νότιος	Συνολική ετήσια (m ³ /έτος)
	db	Hb	Στερεομεταφορά (m ³ /έτος)	
5	1,1154	1,026	72,68	188,247
6	1,785	1,5284	115,567	
7	-	-	-	
8	-	-	-	

Πίνακας 18 Αποτελέσματα για Νότιο άνεμο - Εμπειρικές

5.3.2 Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο

Ένταση (BF)	Στοιχεία θραύσης (m)		Δυτικός	Συνολική ετήσια (m ³ /έτος)
	db	Hb	Στερεομεταφορά (m ³ /έτος)	
5	4,35	3,858	65.828	227.372
6	6,75	6,02	108203,376	
7	8,77	7,86	24918,351	
8	10,9	9,88	28422,1888	

Πίνακας 19 Αποτελέσματα για Δυτικό άνεμο – Εμπειρικές

5.3.3 Αποτελέσματα για Νοτιοδυτικό άνεμο

Ένταση (BF)	Στοιχεία θραύσης (m)		Νοτιοδυτικός	Συνολική ετήσια (m ³ /έτος)
	db	Hb	Στερεομεταφορά (m ³ /έτος)	
5	2,64	2,3383	2656,377	5015,438
6	3,58	2,904	1.855	
7	4,68	4,09	503,638	
8	-	-	-	

Πίνακας 20 Αποτελέσματα για Νοτιοδυτικό άνεμο - Εμπειρικές

6. Συμπεράσματα – Προτάσεις

6.1 Συμπεράσματα

Οι παράκτιες ζώνες αποτελούν ένα από τα πιο ευαίσθητα και ευμετάβλητα συστήματα που συναντώνται στη φύση. Η συνεχής δράση των κυματισμών, των ανέμων και των ρευμάτων προκαλούν διαρκώς αλλαγές στη μορφολογία της. Επιπλέον η κατασκευή παράκτιων έργων για την εξυπηρέτηση του ανθρώπινου δυναμικού μεταβάλλει την αλληλεπίδραση των ακτομηχανικών διεργασιών με την παράκτια ζώνη και φέρει νέα ισορροπία του φυσικού συστήματος.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, μελετήθηκε η κυματική δράση και κατά συνέπεια η μεταφορά φερτών υλικών στην ευρύτερη περιοχή της Μεθώνης. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στο λιμένα της περιοχής, όπου έντονο πρόβλημα προσάμμωσης έχει παρατηρηθεί στο πεδίο. Οι κυματικές δράσεις αναπτύχθηκαν βάσει ανεμολογικών στοιχείων που δόθηκαν από την ΕΜΥ και αφορούσαν τρεις κατευθύνσεις ανέμου που επιδρούν στην περιοχή (Νότιος, Δυτικός, Νοτιοδυτικός).

Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε με χρήση του αριθμητικού μοντέλου MIKE 21 και η περιοχή μελέτης αναλύθηκε με βάση την πραγματική βαθυμετρία (ανά 0,5 μέτρα βάθους), με εφαρμογή τριγωνικού κανάβου (flexible mesh). Επιπρόσθετα, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή εμπειρικών εξισώσεων σε περιβάλλον Matlab για τη διερεύνηση των χαρακτηριστικών των κυματισμών στα βαθιά και εισαγωγή αυτών στις συνοριακές συνθήκες του μοντέλου. Ακόμα, βρέθηκαν σε περιβάλλον Matlab τα χαρακτηριστικά θραύσης των κυματισμών αλλά και η παροχή στερεομεταφοράς. Η εφαρμογή του MIKE 21 μας εξήγαγε υπολογισμούς του ύψους κύματος, της περιόδου, των ταχυτήτων κατά x και y , εγκάρσιο και κατά μήκος ρυθμό στερεομεταφοράς. Παρατηρήθηκε λοιπόν και με την εφαρμογή του μοντέλου η έντονη προσάμμωση στο λιμένα της Μεθώνης και για τους τρεις ανέμους που μας ενδιέφεραν. Εντονότερη παρατηρήθηκε η στερεομεταφορά για Νοτιοδυτικό και Δυτικό άνεμο, ενώ αρκετά μικρότερη αναφορικά με τις προηγούμενες εμφανίστηκε για Νότιο άνεμο. Το γεγονός αυτό εξηγείται από την ανάπτυξη κυματισμών σε πολλά μεγάλα μήκη αναπτύγματος για το Δυτικό και τον Νοτιοδυτικό άνεμο.

Για τη μείωση της προσάμμωσης στο λιμένα που μελετάται στην παρούσα διπλωματική εργασία προτάθηκε η αφαίρεση του εγκάρσιου στην ακτογραμμή (μικρού) κυματοθραύστη. Το σενάριο αυτό εφαρμόστηκε εκ νέου στο μοντέλο MIKE 21, με ιδιαίτερος ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Παρατηρήθηκε έως και μίας τάξης μικρότερη στερεομεταφορά παράλληλα στην ακτογραμμή (κατά x) εντός του λιμένα, ενώ και εγκάρσια (κατά y) παρατηρήθηκε μείωση αλλά σε μικρότερο βαθμό. Συνεπώς, μία τέτοια πιθανή απόφαση από την τοπική αυτοδιοίκηση να είναι ικανή να βελτιώσει σε μεγάλο βαθμό το πρόβλημα της προσάμμωσης, που επιδρά αρνητικά στη γενική οικονομία της περιοχής (μείωση τουρισμού, οπτική όχληση κ.α.).

Η ετήσια στερεομεταφορά πριν την αφαίρεση του κυματοθραύστη αναγόταν στα 446,35 m³/έτος για Νότιο άνεμο, 10863,01 m³/έτος για Νοτιοδυτικό άνεμο και 135732,16 m³/έτος για Δυτικό (αθροιστικά 147042 m³/έτος). Μετά την αφαίρεση του

κυματοθραύστη το μοντέλο μας δίνει ετήσια στερεομεταφορά ίση με 483,36 m³/έτος για Νότιο άνεμο, 10178,01 m³/έτος για Νοτιοδυτικό άνεμο και 97804,07 m³/έτος για Δυτικό (αθροιστικά 108465 m³/έτος). Ενώ με τη χρήση εμπειρικών εξισώσεων λάβαμε στερεομεταφορά ίση με 188,25 m³/έτος για Νότιο άνεμο, 5015,44 m³/έτος για Νοτιοδυτικό άνεμο και 227372,37 m³/έτος για Δυτικό (αθροιστικά 223576 m³/έτος).

Δύο συμπεράσματα μπορεί να βγάλει κανείς από αυτά τα αποτελέσματα. Πρώτον, η αφαίρεση του κυματοθραύστη φαίνεται να επιδρά στη μείωση της μεταφοράς φερτών για δύο από τους ανέμους που μελετήθηκαν αλλά και αθροιστικά, με τη χρήση των αριθμητικών μοντέλων. Δεύτερον, οι εμπειρικές εξισώσεις που δε λαμβάνουν υπόψιν τη γεωμετρία του λιμένα (κυματοθραύστες) φαίνεται να αποκλίνουν αρκετά από τα αριθμητικά μοντέλα προσομοίωσης.

6.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Αρχικά, θα ήταν χρήσιμη η διεξαγωγή μίας μελέτης προστασίας της ακτής από τη δράση των κυματισμών. Ειδικότερα, προτείνεται η μελέτη των κυματικών χαρακτηριστικών και συνθηκών στερεομεταφοράς με χρήση στοιχείων παλιρροιογράφου ή αριθμητικών μοντέλων που έχουν εφαρμοστεί σε μεγαλύτερη κλίμακα. Η χρήση τέτοιων δεδομένων θα βοηθήσει τόσο στη σύγκριση των αποτελεσμάτων που εξάγονται από το ΜΙΚΕ 21, όσο και στην πιο αντιπροσωπευτική εφαρμογή συνοριακών συνθηκών στο πρόγραμμα.

Επιπρόσθετα, προτείνεται η διερεύνηση της δυνατότητας μείωσης του μήκους του κυματοθραύστη που επεκτείνεται από το αρχαίο κάστρο της Μεθώνης, κατόπιν έρευνας για τυχόν σύγχρονη επέκταση του μήκους του από τις τοπικές αρχές, σε συνεννόηση με αυτές καθώς και με κάποιο τομέα της τοπικής αρχαιολογίας. Επιπλέον, η μελέτη για θερινό και χειμερινό προφίλ θα ήταν σημαντική.

Τέλος, θα ήταν εξαιρετικά χρήσιμο η ανάπτυξη μοντέλων προσομοίωσης στερεομεταφοράς (στο μοντέλο που εφαρμόστηκε εξήχθησαν ρυθμοί μεταφοράς) και μεταβολής της ακτογραμμής για παράκτιες ζώνες με πολύπλοκη γεωμετρία, όπως είναι η περιοχή που μελετήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία. Τα υπάρχοντα μοντέλα μπορούν να προσομοιώσουν την εξέλιξη της ακτογραμμής εν γένει σε ευθύγραμμες ακτογραμμές με απλή γεωμετρία.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

T. Justin Thomas and G.S. Dwarakish, 2015, Numerical Wave Modelling – A Review, Aquatic Procedia, Volume 4, Pages 443-448

L. Cavaleri, S. Abdalla, A. Benetazzo, L. Bertotti, J. –R Bidlot, Ø. Breivik, S. Carniel, R.E. Jensen, J. Portilla-Yandun, W.E. Rogers, A. Roland, A. Sanchez-Arcilla, J.M. Smith, J. Staneva, Y. Toledo, G.Ph.van Vledder, A.J. van der Westjuijsen, Progress in Oceanography, Volume 167, October 2018, Pages 164-233

Μέμος Κ., 2008, Εισαγωγή στα λιμενικά έργα, Αθήνα

D.H.I., 2013. MIKE 21 SW FM User Guide and Scientific Documentation. Danish Hydraulic Institute.

D.H.I., 2014. MIKE Littoral Processes FM User Guide and Scientific Documentation. Danish Hydraulic Institute

D.H.I., 2015, MIKE 21 HD FM User Guide and Scientific Documentation. Danish Hydraulic Institute.

Καραμπάς Θ., Κρεστενίτης Ι. και Κουτίτας Χ., 2015, Ακτομηχανική Έργα Προστασίας Ακτών, κεφ. Παράκτια Στερεομεταφορά, Μορφοδυναμική των ακτών, Διάβρωση ακτών, Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών

The WISE Group, L. Cavaleri, J.-H.G.M. Alves, F. Ardhuin, A. Babanin, M. Banner, K. Belibassakis, M. Benoit, M. Donelan, J. Groeneweg, T.H.C. Herbers, P. Hwang, P.A.E.M. Janssen, T. Janssen, I.V. Lavrenov, R. Magne, J. Monbaliu, M. Onorato, V. Polnikov, D. Resio, W.E. Rogers, A. Sheremet, J. McKee Smith, H.L. Tolman, G. van Vledder, J. Wolf, I. Young, Progress in Oceanography, Volume 75, Issue 4, December 2007, Pages 603-674

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

2/3/2019 11:40 μμ C:\Users\KQ...\SBM+Breaking+Kamphuis.m 1 of 2

```
clear
dm=0.25*10^(-3)
g=9.81; %m/s^2
a0=50; %gonia moires
Feff=121.538; %Km
Feff=Feff*1000;
BF=6; %mph
tD=3.8; %hr
tD=tD*3600; %s
m=1/39;
pos=0.005/100 %sixnotita enfanisla
U10=1.87*BF^(3/2)*1600/3600 %m/s
UA=0.71*U10^(1.23) %m/s

E1=g*Feff/UA^2;
E2=g*tD/UA;

if E1>22.8*10^3
    Hs=.243*UA^2/g %m
    T=8.13*UA/g %s
    Tp=T/0.71 %s
    Ts=T
elseif E2>68.8*E1^.66
    Hs=0.0016*UA^2*E1^.5/g
    T=.286*UA*E1^.33/g
    Tp=T/0.71 %s
    Ts=T
else
    Feff=UA^2/g*(g*tD/(68.8*UA))^1.5
    E1=g*Feff/UA^2;
    Hs=0.0016*UA^2*E1^.5/g
    T=.286*UA*E1^.33/g
    Tp=0.95*T/0.781 %s
    Ts=0.95*T %s
end

ws=2*pi/Ts
K0=ws^2/g;
L0=2*pi/K0;
C0=L0/Ts;
d=1.57;
k=0.359;
L=2*pi/k;
C=L/Ts;
n=(1/2)*(1+(2*k*d)/(sinh(2*k*d)));
Ks=(C0/(2*n*C))^1/2;
a=(asin(sin((pi*a0/180)*C/C0)));
Kr=((cos(pi*a0/180))/(cos(a)))^(1/2);
H=Hs*Ks*Kr
x=H/(g*T^2)
Hb=1.07*H
y=Hb/(g*T^2)
db=1.15*Hb
z=sin(2*a);
Q=6.4*10^4*(Hb^2)*(Tp^1.5)*(m^(0.75))*(dm^(-0.25))*(z)^0.6;
Q=vpa(Q,9)*pos,9)
```

Εικόνα 52 Κώδικας Matlab