

WAVEFORUS: ΠΙΛΟΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΣΤΟ ΘΕΡΜΑΪΚΟ ΚΟΛΠΟ

**Κρεστενίτης Γ.Ν.¹, Ανδρουλιδάκης Γ.¹, Κομπιάδου Κ.¹, Μακρής Χ.¹, Μπαλτίκας Β.¹,
και Καλαντζή Γ.²**

¹ Εργαστήριο Θαλάσσιας Τεχνικής και Θαλασσιών Έργων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο
Θεσσαλονίκης, 54124 Θεσσαλονίκη, E-mail: ynkrest@civil.auth.gr

² ΟΜΙΚΡΟΝ, Σχεδιασμός, Μελέτη και Διαχείριση Περιβαλλοντικών και Τεχνικών Έργων
Ε.Π.Ε., 15^ο χλμ. Θεσσαλονίκης-Μουδανιών, Αγρ. οδός Στράιτσα, 57001 Θέρμη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της έρευνας είναι η ανάπτυξη ενός σύγχρονου συστήματος θαλάσσιας πρόγνωσης (WaveForUs), υψηλής ανάλυσης, στην περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου. Το επιχειρησιακό σύστημα περιλαμβάνει μαθηματικά μοντέλα για την προσομοίωση της μετεωρολογικής παλίρροιας (HRSS), της θαλάσσιας κυκλοφορίας (POM) των κυματισμών (WaveWatch-III). Τα ατμοσφαιρικά δεδομένα λαμβάνονται από το μετεωρολογικό μοντέλο WRF-ARW. Το σύστημα WaveForUs παρέχει 3-ήμερες προγνώσεις της μέσης στάθμης της θάλασσας των κυματισμών, της κυκλοφορίας, των θερμοαλατικών παραμέτρων μέσω τηλεοπτικών εκπομπών και διαδικτυακών εφαρμογών. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων αξιολογήθηκαν με την χρήση διαθέσιμων μετρήσεων πεδίου και δορυφορικών δεδομένων με στόχο την βαθμονόμηση των μοντέλων. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι βασικές παράμετροι του προγνωστικού συστήματος και αποτελέσματα από τη βαθμονόμηση και αρχική επαλήθευση των μοντέλων θαλάσσιας πρόγνωσης.

WAVEFORUS: PILOT SEA-STATE FORECASTING SYSTEM IN THE THERMAIKOS GULF

**Krestenitis Y.N.¹, Androulidakis Y.¹, Kombiadou K.¹, Makris Ch.¹, Baltikas V.¹,
and Kalantzi G.²**

¹ Laboratory of Maritime Engineering and Maritime Works, Aristotle University of
Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece, E-mail: ynkrest@civil.auth.gr

² ΟΜΙΚΡΟΝ Environmental, Engineering and Technical Works Design, Study and
Management Ltd, 15th km Thessaloniki-Moudania, 57001 Thermi, Thessaloniki, Greece

ABSTRACT

The aim of the present research is the development of a state-of-the-art, high resolution, sea-state forecasting system (WaveForUs) in the Thermaikos Gulf. The operational system includes mathematical models for the prognosis of: storm surges (HRSS), the waves (WaveWatch-III), the circulation (POM). Atmospheric forcing is obtained by the WRF-ARW meteorological model. The WaveForUs system provides 3-day forecasts of waves, circulation, seawater thermohaline properties and sea level height via television broadcasts and web-based applications. The present paper focuses on the basic parameters of the forecasting system and on results from the calibration and initial validation of the sea-state forecasting models.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πρόγνωση των θαλασσιών παραμέτρων (κύμα, κυκλοφορία, στάθμη θάλασσας) παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον, τόσο ερευνητικό, όσο και πρακτικό. Ιδιαίτερα για τον ελλαδικό χώρο, με τη μεγάλη έκταση ακτογραμμής αλλά και τις πολυπληθείς δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στη θάλασσα, είναι ιδιαίτερα σημαντική η παροχή υψηλής ποιότητας και χωρικής ανάλυσης θαλάσσιων προγνώσεων σε εξειδικευμένους και μη χρήστες. Για την περιοχή του Θερμαϊκού Κόλπου (ΒΔ Αιγαίο) υπάρχει έλλειψη τέτοιων προγνώσεων. Υπό το πρίσμα αυτό, σχεδιάστηκε το πιλοτικό σύστημα πρόγνωσης **WaveForUs** (**Wave** climate and coastal circulation forecasts **For** public **Use**), <http://wave4us.web.auth.gr>, που στοχεύει στη χρήση εξελιγμένων επιχειρησιακών μεθόδων μοντελοποίησης και πρόγνωσης ατμοσφαιρικών, κυματικών και θαλασσιών παραμέτρων. Στόχος είναι η παροχή καθημερινών προγνώσεων κύματος και θαλάσσιας κυκλοφορίας στην περιοχή του Θερμαϊκού Κόλπου, με τρόπο φιλικό προς το χρήστη, μέσω τηλεοπτικών μεταδόσεων και διαδικτυακών εφαρμογών. Επιπλέον, μέσω προσομοιώσεων μετεωρολογικής παλίρροιας παρέχονται προγνώσεις στάθμης θάλασσας με σκοπό την αξιολόγηση του κινδύνου παράκτιας κατάκλυσης και την προειδοποίηση του κοινού σχετικά με πιθανές περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

Το πεδίο εφαρμογής του συστήματος πρόγνωσης είναι ο Θερμαϊκός Κόλπος, δηλαδή η θαλάσσια περιοχή του ΒΔ τμήματος του Βορείου Αιγαίου που εκτείνεται νότια έως και το ακρωτήριο Κασσάνδρα (39,97°N). Ο Θερμαϊκός Κόλπος είναι μια περιοχή μεγάλης οικονομικής και περιβαλλοντικής σημασίας, με πληθώρα κοινωνικοοικονομικών δραστηριοτήτων να λαμβάνουν χώρα στην παράκτια ζώνη και στο εσωτερικό του κόλπου, όπως αναψυχή, αθλητικές και τουριστικές δραστηριότητες, αλιευτικές επιχειρήσεις (είτε παράκτια αλιείας και αλιείας ανοιχτής θάλασσας, είτε μονάδων υδατοκαλλιέργειας) και θαλάσσιων μεταφορών. Παράλληλα, τμήματα του κόλπου προστατεύονται από διεθνείς συνθήκες, μεταξύ των οποίων το Δέλτα Αξιού-Λουδία-Αλιάκμονα, η λιμνοθάλασσα του Αγγελοχωρίου και οι αλυκές του Κίτρους.

Οι στόχοι της παρούσας εργασίας είναι:

- Η ανάπτυξη συστήματος για την πρόγνωση κύματος, θαλάσσιας κυκλοφορίας και παλιρροιών λόγω καταιγίδων στην περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου.
- Η μετάδοση 3-ήμερων προγνώσεων για τις εν λόγω παραμέτρους μέσω τηλεοπτικών εκπομπών και διαδικτυακών εφαρμογών.
- Η διάχυση αποτελεσμάτων υψηλής χωρικής ανάλυσης, τα οποία θα είναι άμεσα αξιοποιήσιμα από τους χρήστες στην περιοχή (αλιεία, υδατοκαλλιέργειες, ναυταθλητικές δραστηριότητες, τουρισμός, δραστηριότητες αναψυχής κλπ) αλλά και από άλλες εφαρμογές, όπως προγράμματα περιβαλλοντικής μοντελοποίησης και διαχείρισης της παράκτιας ζώνης.
- Η παροχή αποτελεσμάτων επικεντρωμένων σε περιοχές ειδικού ενδιαφέροντος, όπως υδατοκαλλιέργειες και προστατευόμενες περιοχές.
- Η άμεση ειδοποίηση κοινού και αρχών στην περίπτωση έκτακτων επικίνδυνων γεγονότων σχετικά με την ανύψωση της στάθμης της θάλασσας.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην παρουσίαση του συστήματος μοντελοποίησης, το οποίο αποτελείται από την αλληλουχία των εξής μαθηματικών μοντέλων:

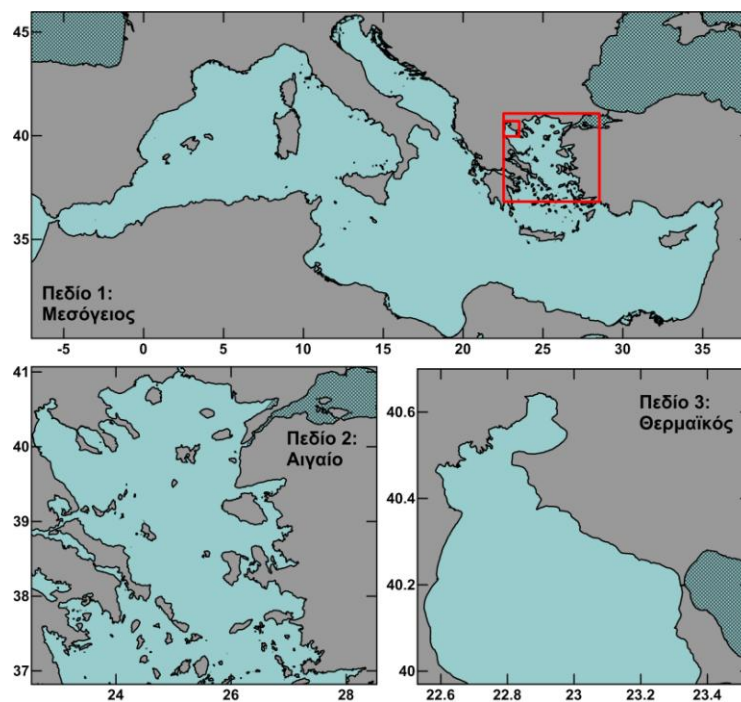
- Μετεωρολογικό μοντέλο: Weather Research and Forecasting model with the Advanced Research dynamic solver (WRF-ARW, version 3.2.0) [1,2]
- Μοντέλο μετεωρολογικής παλίρροιας: High Resolution Storm Surge model (HRSS) [3]
- Κυματικό μοντέλο: WaveWatch-III (WW-III, version 3.14) [4]

- Μοντέλο θαλάσσιας κυκλοφορίας: Princeton Ocean Model (POM, version 2008) [5]

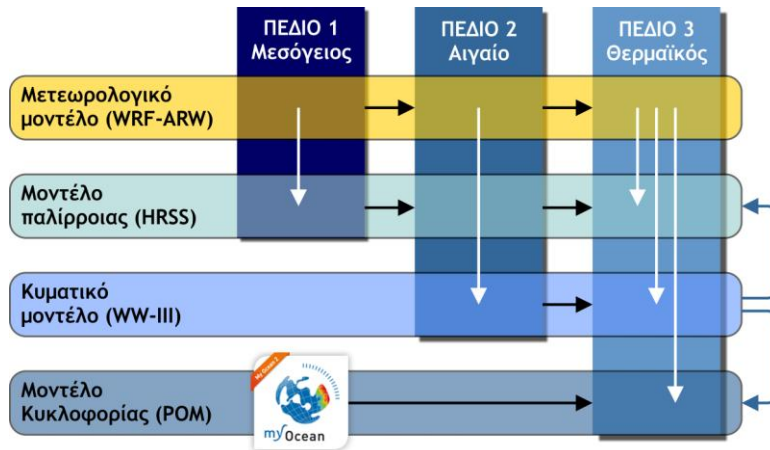
Τα μαθηματικά μοντέλα εφαρμόζονται σε τρία διαφορετικά πεδία, διαδοχικά αυξανόμενης ανάλυσης (Σχήμα 1):

- Πεδίο 1- Μεσόγειος Θάλασσα, με χωρικό βήμα $0.15^{\circ} \times 0.15^{\circ}$ (~15km)
- Πεδίο 2 - Αιγαίο Πέλαγος, με χωρικό βήμα $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ (~5km) και
- Πεδίο 3 - Θερμαϊκός Κόλπος, με χωρικό βήμα $0.016^{\circ} \times 0.016^{\circ}$ (~1.7km)

Η αλληλουχία δεδομένων/αποτελεσμάτων μεταξύ των μαθηματικών μοντέλων και τα πεδία εφαρμογής τους στο σύστημα πρόγνωσης WaveForUs δίνεται γραφικά στο Σχήμα 2. Η παροχή αρχικών και οριακών συνθηκών στα διάφορα μοντέλα γίνεται από το πεδίο χαμηλότερης προς το πεδίο υψηλότερης ανάλυσης (μαύρα βέλη στο Σχ.2). Το μετεωρολογικό μοντέλο εφαρμόζεται και στα τρία επίπεδα και παρέχει αποτελέσματα που χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου σε όλα τα θαλάσσια μοντέλα πρόγνωσης (λευκά βέλη στο Σχ.3). Το μοντέλο μετεωρολογικής παλίρροιας επίσης εφαρμόζεται και στα τρία πεδία (με τα αποτελέσματα του πεδίου 1 να παρέχει οριακές συνθήκες στο πεδίο 2, το οποίο με τη σειρά του παρέχει οριακές συνθήκες στο πεδίο 3), ενώ το κυματικό μοντέλο εφαρμόζεται στα πεδία 2 και 3 (με τα αποτελέσματα του πεδίου 2 να τροφοδοτούν με οριακές συνθήκες το πεδίο 3). Το τρισδιάστατο μοντέλο θαλάσσιας κυκλοφορίας εφαρμόζεται μόνο στο Θερμαϊκό κόλπο και οι οριακές συνθήκες παρέχονται από το σύστημα MyOcean (<http://www.myocean.eu>). Η σύζευξη των μοντέλων πρόκειται να γίνει χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα του κυματικού μοντέλου (μπλε βέλη στο Σχ.3), το οποίο θα παράσχει αποτελέσματα προς το μοντέλο κυκλοφορίας, ώστε να ληφθούν υπόψη οι επιδράσεις των τάσεων ακτινοβολίας και των ρευμάτων μεταφοράς μάζας κατά Stokes. Επιπλέον, η εξέλιξη της μεταβολής της στάθμης θάλασσας, όπως υπολογίζεται από το HRSS, θα παρέχεται στο κυματικό μοντέλο για τον καθορισμό του νέου τοπικού βάθους κατά την προσομοίωση του κύματος. Οι συγκεκριμένες συζεύξεις βρίσκονται υπό εκτέλεση στην παρούσα φάση.



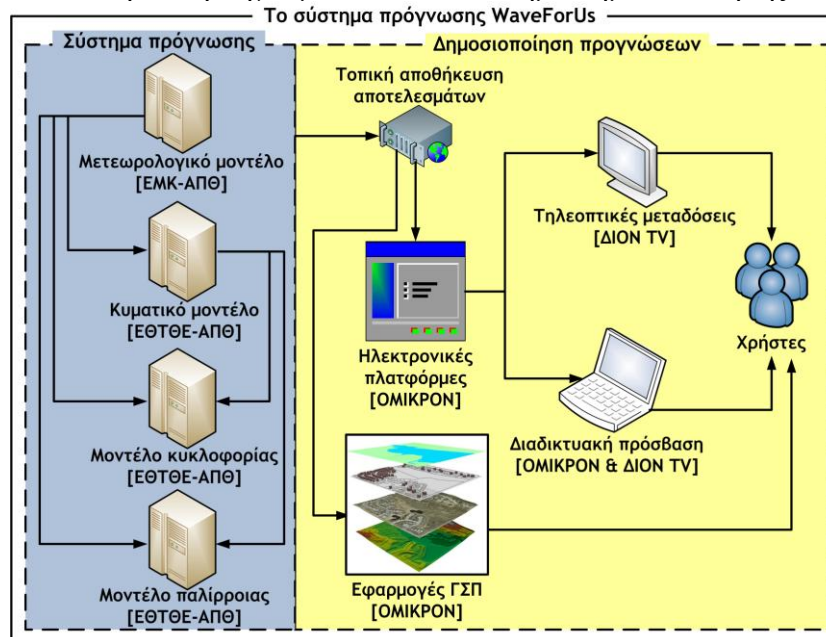
Σχήμα 1: Τα 3 πεδία εφαρμογής των μοντέλων πρόγνωσης. Οι διαγραμμισμένες περιοχές είναι εκτός υπολογισμών.



Σχήμα 2: Απεικόνιση των μοντέλων πρόγνωσης και των πεδίων εφαρμογής τους. Τα μαύρα βέλη συμβολίζουν την μεταφορά αρχικών και οριακών συνθηκών ενώ τα λευκά την εισαγωγή δεδομένων εισόδου και τα μπλε τη σύζευξη μεταξύ των μοντέλων.

Σχετικά με τα είδη αποτελεσμάτων που παρέχουν τα μοντέλα ως παραμέτρους της πρόγνωσης ή/και παραμέτρους σύζευξης μεταξύ των μοντέλων του συστήματος, το μετεωρολογικό μοντέλο παρέχει αποτελέσματα για τη βροχόπτωση, την ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία, την ειδική και σχετική υγρασία, τα πεδία ανέμου, σε 10m ύψος από την μέση στάθμη θάλασσας (ΜΣΘ) και τις ροές θερμότητας και ακτινοβολίας. Το σύνολο των μετεωρολογικών προγνώσεων χρησιμοποιούνται από το μοντέλο θαλάσσιας κυκλοφορίας, το οποίο παρέχει ακολούθως αποτελέσματα για την ταχύτητα και διεύθυνση των θαλασσιών ρευμάτων και τα θερμοαλατικά χαρακτηριστικά του θαλασσινού νερού. Αντιστοίχως, το κυματικό μοντέλο έχει ως δεδομένα εισόδου τα πεδία ανέμου και δίνει τελικές προγνώσεις για την κατεύθυνση και το ύψος κύματος στο πεδίο, ενώ το μοντέλο μετεωρολογικής παλίρροιας λαμβάνει στοιχεία για τα πεδία ατμοσφαιρικής πίεσης και ανέμου, συμπεριλαμβάνει την αστρονομική παλίρροια, και παρέχει προγνώσεις για τη ΜΣΘ.

Η δομή του συστήματος WaveForUs δίνεται γραφικά στο Σχήμα 3. Αποτελείται από το σύστημα πρόγνωσης, που ουσιαστικά απαρτίζεται από τα διάφορα μοντέλα πρόγνωσης, που συνοπτικά παρουσιάστηκαν προηγούμενα και το σύστημα δημοσιοποίησης των προγνώσεων.



Σχήμα 3: Σχηματική απόδοση του συστήματος πρόγνωσης WaveForUs κατά τη φάση επιχειρησιακής λειτουργίας

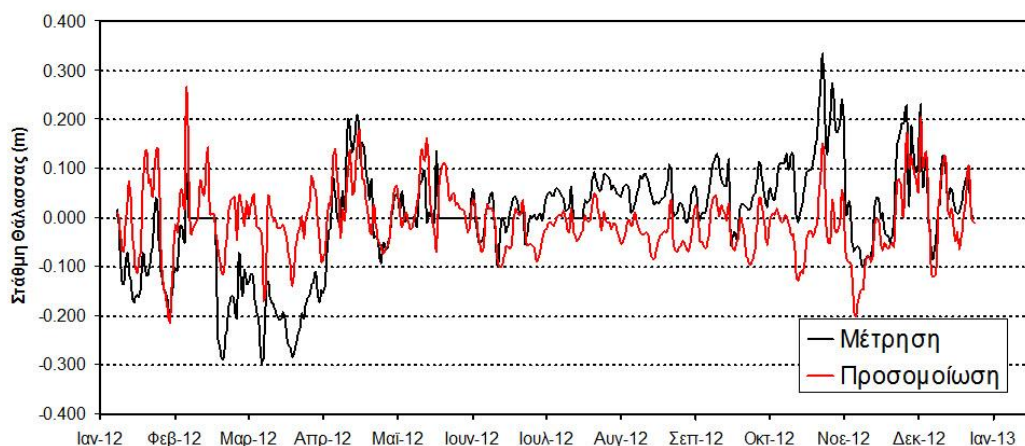
Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων αποθηκεύονται τοπικά και δημοσιοποιούνται στους χρήστες μέσω της ιστοσελίδας του προγράμματος (<http://wave4us.web.auth.gr>) με τη μορφή ψηφιακών χαρτών χωρικής κατανομής των παραμέτρων (μέση στάθμη θαλάσσιας επιφάνειας, κυματισμός, ρεύματα, θερμοαλατικές παράμετροι) και χρονοσειρών εξέλιξης των παραμέτρων αυτών στη διάρκεια της 3-ήμερης πρόγνωσης. Απώτερος στόχος είναι η ενημέρωση των ενδιαφερομένων μέσω τηλεοπτικών μεταδόσεων της 3-ήμερης πρόγνωσης και έκτακτων δελτίων επικινδυνότητας παράκτιας κατάκλυσης σε περίπτωση σημαντικής (>30cm) υπερύψωσης της Μέσης Στάθμης Θάλασσας (ΜΣΘ) και συστήματος διαδικτυακής εφαρμογής ΓΣΠ (Web-GIS).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αποτελέσματα από διερευνητικές προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση και την επαλήθευση των μοντέλων θαλάσσιας πρόγνωσης για το έτος 2012.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Αποτελέσματα μοντέλου μετεωρολογικής παλίρροιας

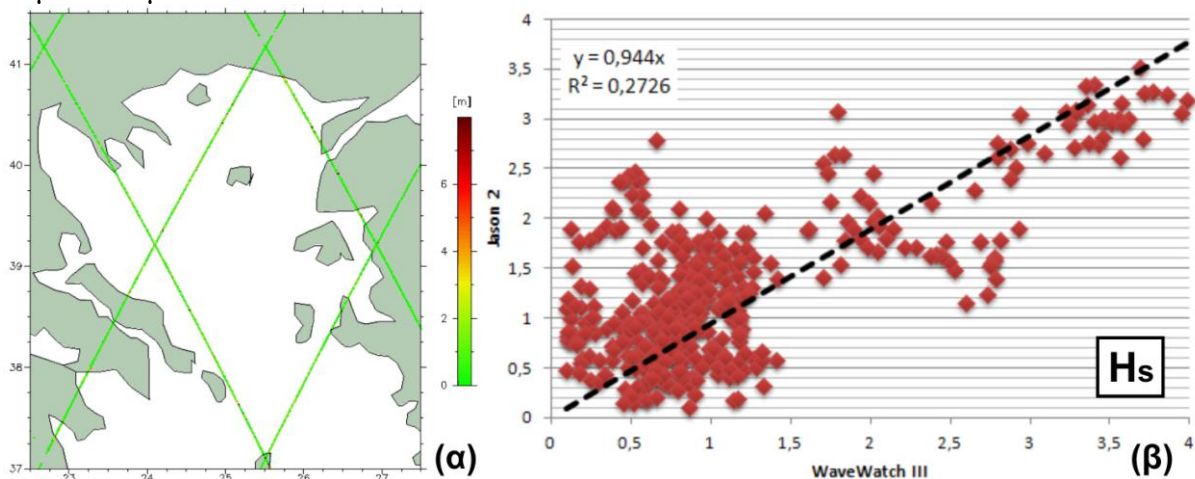
Στο σχήμα παρουσιάζεται η συσχέτιση αποτελεσμάτων ΜΣΘ του μοντέλου και επιτόπου μέτρησης (παλιρροιογράφος) για το λιμένα Θεσσαλονίκης λαμβάνοντας μέσες ημερήσιες τιμές της παραμέτρου. Παρατηρείται ότι το μοντέλο, όπως άλλωστε έχει τεκμηριωθεί και από προηγούμενες επιχειρησιακές εφαρμογές του στην Μεσόγειο και για διάφορες άλλες χρονικές περιόδους (2001-2005) [3], περιγράφει αποδοτικά την εξέλιξη της ΜΣΘ, ιδιαίτερα για τις περιπτώσεις τοπικού μέγιστου, οι οποίες είναι σημαντικές για το σύστημα πρόγνωσης, καθώς ενδεχομένως προκαλούν προβλήματα κατάκλυσης σε παράκτιες περιοχές με χαμηλό υψόμετρο. Ιδιαίτερα για τις περιόδους Απρίλιος-Ιούνιος και Νοέμβριος-Δεκέμβριος, η προσομοιωμένη ΜΣΘ είναι πάρα πολύ κοντά στη μέτρηση. Βέβαια, υφίστανται και περίοδοι όπου υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις, όπως για παράδειγμα η περίοδος Ιούλιος-Οκτώβριος, όπου το μοντέλο φαίνεται να έχει μια συντηρητική υποτίμηση της ΜΣΘ. Παρ' όλα αυτά, το μοντέλο είναι εμφανώς αποδοτικό στην περιγραφή της εξέλιξης της ΜΣΘ, αφού ακολουθεί σε μεγάλο βαθμό τη χρονική μεταβλητότητα των μετρήσεων. Η περαιτέρω βαθμονόμηση του μοντέλου με σκοπό την παραγωγή ακόμα πιο αξιόπιστων αποτελεσμάτων βρίσκεται υπό εξέλιξη. Μια πιθανή πηγή σφάλματος είναι η θέση του παλιρροιογράφου εντός της λιμενολεκάνης, η οποία μπορεί να δημιουργεί τοπικά φαινόμενα (ανακλάσεις, ταλαντώσεις κλπ). Αυτά δεν είναι δυνατόν να αποδοθούν από το μοντέλο μεγαλύτερης κλίμακας (~1.6 km) σε σχέση με το μέγεθος του λιμένα.



Σχήμα 4: Σύγκριση μέσης ημερήσιας τιμής ΜΣΘ μεταξύ προσομοίωσης και μέτρησης παλιρροιογράφου για την περιοχή του λιμένα Θεσσαλονίκης

3.1 Αποτελέσματα κυματικού μοντέλου

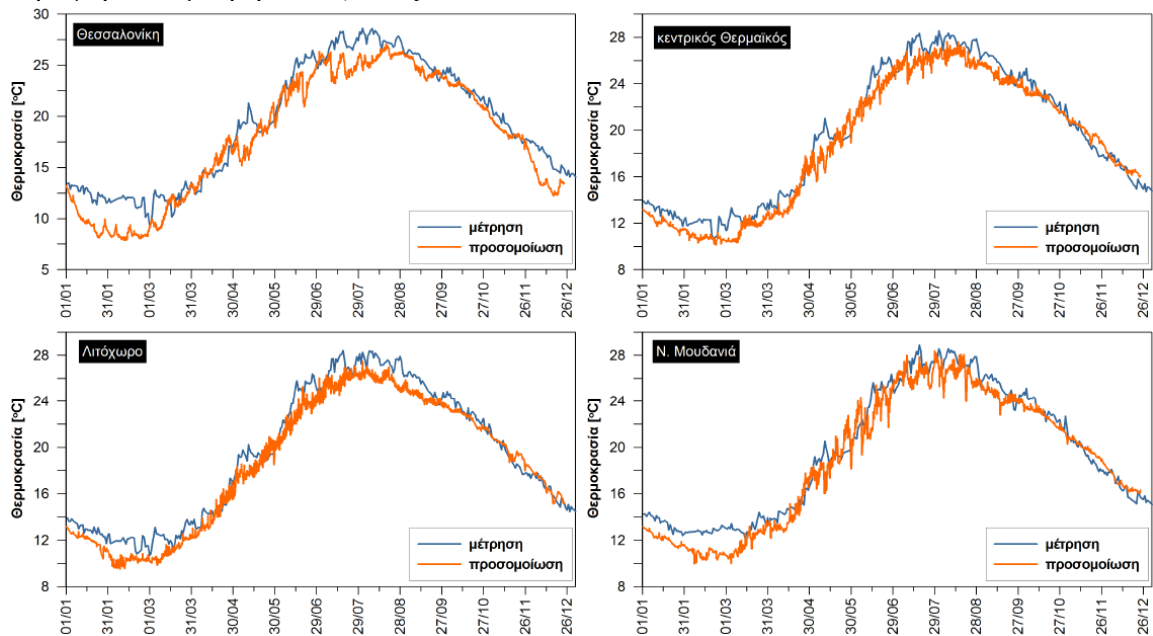
Με δεδομένο τις περιορισμένες διαθέσιμες μετρήσεις ύψους κύματος για το πεδίο του Θερμαϊκού κόλπου, επιλέχθηκε το πεδίο 2 (Αιγαίο) για την βαθμονόμηση/επαλήθευση του μοντέλου W-III. Στο Σχήμα 5 παρουσιάζονται οι τροχιές του δορυφόρου Jason-2/ Phase A στο πεδίο (α) και η συσχέτιση μεταξύ σημαντικού ύψους κύματος (H_s) όπως υπολογίζεται από το κυματικό μοντέλο και τις δορυφορικές μετρήσεις, για την περίοδο 13/01/2012 μέχρι 17/04/2012. Για τις ανάγκες της σύγκρισης, πραγματοποιήθηκε χωρική και χρονική επικάλυψη (time and space collocation) για τη σύμπτωση δορυφορικών μετρήσεων και υπολογισμών του μοντέλου. Σημειώνεται, πως οι τιμές του σημαντικού ύψους κύματος των τροχιών του δορυφόρου, απέχουν χρονικά μεταξύ τους ένα περίπου λεπτό της ώρας. Για την χρονική επικάλυψη (collocation over time) των δορυφορικών τιμών και των τιμών του μοντέλου, επιλέχθηκαν οι δορυφορικές τιμές εκείνες οι οποίες ενέπιπταν εντός εικοσαλέπτου από τις χρονικές στιγμές εξόδου των αποτελεσμάτων του μοντέλου, των οποίων το βήμα είναι εξάωρο. Για την χωρική επικάλυψη (collocation over space), το κυματικό μοντέλο τροφοδοτήθηκε με τις συντεταγμένες των δορυφορικών τιμών που επιλέχθηκαν μετά τη χρονική επικάλυψη, και κατά την διάρκεια των υπολογισμών του πραγματοποιήθηκε και εσωτερική παρεμβολή, ώστε τα αποτελέσματα του μοντέλου να αναφέρονται στις θέσεις των δορυφορικών δεδομένων. Μετά από αυτή τη διαδικασία, οι χωρικά και χρονικά επικαλυπτόμενες τιμές των δορυφορικών δεδομένων και της εξόδου του κυματικού μοντέλου, και για την χρονική περίοδο της σύγκρισης, είναι σε πλήθος 441. Αντίστοιχη διαδικασία, έγινε και για την σύγκριση της ταχύτητας του ανέμου που χρησιμοποιείται ως είσοδος για το κυματικό μοντέλο, και της ταχύτητας του ανέμου που υπολογίζεται από τα δορυφορικά δεδομένα. Από την διαδικασία για την χωρική και χρονική επικάλυψη των δεδομένων της ταχύτητας του ανέμου, προέκυψαν 519 σημεία. Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 5, η συσχέτιση των δύο σετ δεδομένων είναι ικανοποιητική ($y = 0.944x$), αν λάβει κανείς υπ' όψιν πως και οι υπολογισμοί του σημαντικού ύψους κύματος από τα δορυφορικά δεδομένα μέσω αλγορίθμων, εμπεριέχουν σημαντικά σφάλματα. Επίσης η αντίστοιχη σύγκριση για την ταχύτητα του ανέμου (δεν παρουσιάζεται εδώ), εμφάνισε πανομοιότυπη μορφή διασποράς, γεγονός που δηλώνει πως οι διαφορές οφείλονται περισσότερο σε διαφορές μεταξύ του ανεμολογικού πεδίου εισόδου του μοντέλου και των αντίστοιχων ανεμολογικών δορυφορικών τιμών και λιγότερο σε σφάλματα υπολογισμών του μοντέλου. Τέλος, το γεγονός ότι η μεγαλύτερη διασπορά εμφανίζεται σε τιμές σημαντικού ύψους κύματος μικρότερες των 1.5m, προσδίδει ένα ακόμα σημείο αξιοπιστίας στους υπολογισμούς του κυματικού μοντέλου.



Σχήμα 5: Τροχιές δορυφόρου Jason 2 (α) και σύγκριση σημαντικού ύψους κύματος H_s (m) μεταξύ προσομοίωσης και δορυφορικής μέτρησης (β)

3.3 Αποτελέσματα μοντέλου κυκλοφορίας

Η προσομοίωση της κυκλοφορίας για το 2012 πραγματοποιήθηκε θεωρώντας ομογενές πεδίο αρχικών συνθηκών και πιο συγκεκριμένα θερμοκρασία ίση με 13°C, αλατότητα ίση με 35 psu και μηδενικών ταχυτήτων. Σημειώνεται επίσης ότι για το εν λόγω διάστημα δεν ήταν δυνατή η εύρεση οριακών συνθηκών από το σύστημα MyOcean. Έτσι για την προσομοίωση του 2012 εφαρμόστηκε η συνθήκη ελεύθερης διάβασης στο ανοιχτό νότιο όριο του πεδίου. Στο σχήμα 6 δίνεται η χρονοσειρά επιφανειακής θερμοκρασίας (SST: Sea Surface Temperature) σε τέσσερις θέσεις του πεδίου εφαρμογής και η σύγκρισή τους με αντίστοιχες δορυφορικές μετρήσεις (βέλτιστη παρεμβολή σε υψηλή ανάλυση μετρήσεων SST από αισθητήρες υπερύθρων ακτινών). Σημειώνεται ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές διακριτοποίησης μεταξύ του υπολογιστικού καννάβου (με χωρικό βήμα $dx=dy=1/60^\circ$) και του κελιού των δορυφορικών μετρήσεων ($dx=dy=1/16^\circ$).



Σχήμα 6: Σύγκριση τιμών SST με δορυφορικές μετρήσεις για το 2012 για της περιοχές της Θεσσαλονίκης (εσωτερικός Θερμαϊκός), του κεντρικού κόλπου, του Λιτοχώρου (ανατολικές ακτές) και των Νέων Μουδανιών (δυτικές ακτές).

Παρατηρούμε ότι γενικά το μοντέλο αναπαράγει τον ετήσιο κύκλο θερμοκρασίας στο πεδίο και η σύγκλιση πρόγνωσης και μέτρησης είναι γενικά καλή (συντελεστής συσχέτισης $R^2 \sim 0.96$), ενώ παράλληλα υφίστανται διαφορές στην ακρίβεια μεταξύ των περιοχών του κόλπου. Έτσι, η πρόγνωση για την περιοχή του εσωτερικού Θερμαϊκού κόλπου (Θεσσαλονίκη) παρουσιάζει αποκλίσεις σε σχέση με τις μετρήσεις, λόγω και των μικρών βαθών στην περιοχή, που οδηγούν στην ταχύτερη ανάμιξη των νερών και της θερμότητας. Γενικά, για τους πρώτους μήνες της προσομοίωσης οι τιμές SST είναι χαμηλότερες από αυτές των μετρήσεων, που οφείλεται πιθανότατα στις ομογενείς αρχικές συνθήκες που θεωρήθηκαν. Για την περιοχή του κεντρικού Θερμαϊκού κόλπου και των δυτικών ακτών (Λιτοχώρο) η σύγκλιση προσομοίωσης με τα δορυφορικά δεδομένα είναι αρκετά καλή (μ.τ. σφάλματος $0.77 \pm 1.17^\circ\text{C}$ και $0.65 \pm 1.11^\circ\text{C}$, αντίστοιχα). Παράλληλα, για την περιοχή του ανατολικού κόλπου (N. Μουδανιά) το μοντέλο γενικά παρουσιάζει ικανοποιητική απόδοση (μ.τ. σφάλματος $0.82 \pm 1.20^\circ\text{C}$), με εξαίρεση την περίοδο του χειμώνα όπου προβλέπει υψηλότερες θερμοκρασίες από αυτές των μετρήσεων, διαφορά που πιθανότατα οφείλεται στην έλλειψη δεδομένων για τις οριακές συνθήκες. Η εισροή νερών από την ανοιχτή θάλασσα στο πεδίο πραγματοποιείται κατά κύριο λόγο κυκλωνικά, με τα ψυχρότερα (και

υψηλής αλατότητας) νερά του Βορείου Αιγαίου να εισέρχονται στο Θερμαϊκό κατά μήκος των ανατολικών ακτών. Επομένως, δεδομένου ότι η επίδραση των νερών αναμένεται να είναι εντονότερη στο ανατολικό τμήμα του κόλπου, για τη δεδομένη περίοδο θα είχαν σαν συνέπεια την μείωση του SST.

Σχετικά με τις υπόλοιπες παραμέτρους πρόγνωσης του μοντέλου κυκλοφορίας (δεν παρουσιάζονται εδώ) αναφέρεται ότι βρίσκονται σε συμφωνία με αντίστοιχες μετρήσεις και με γνωστά πρότυπα κυκλοφορίας στην περιοχή. Σημειώνεται ότι η επίδραση των υφάλμυρων νερών των ποταμών θα ληφθεί υπόψη στην επιχειρησιακή φάση του προγράμματος (3ήμερες προγνώσεις) χρησιμοποιώντας δεδομένα στάθμης των κατάντη φραγμάτων των ποταμών της περιοχής σε συνδυασμό με εκτιμήσεις επιφανειακών απορροών.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το σύστημα WaveForUs είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα θαλάσσιας πρόγνωσης που θα είναι σε θέση να παρέχει υψηλής ποιότητας και ανάλυσης προγνώσεις κύματος, κυκλοφορίας και θερμοαλατικών χαρακτηριστικών και ανύψωσης της στάθμης θάλασσας για την περιοχή του Θερμαϊκού Κόλπου. Το σύστημα πρόκειται σύντομα να τεθεί σε επιχειρησιακή λειτουργία, κατά την οποία τα αποτελέσματα θα διαχέονται με τρόπο φιλικό και άμεσο προς το χρήστη και θα παρέχουν γενική αλλά και πιο εξειδικευμένη πληροφορία σε σχέση με την κατάσταση του θαλάσσιου πεδίου στην περιοχή. Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν τα αλληλο-συνδεδεμένα μοντέλα πρόγνωσης των θαλασσιών παραμέτρων, καθώς και ενδεικτικά αποτελέσματα από την βαθμονόμηση/επαλήθευση των μοντέλων θαλάσσιας πρόγνωσης του συστήματος, από τα οποία γίνεται εμφανές ότι η απόδοσή τους είναι αρκετά ικανοποιητική.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το ερευνητικό πρόγραμμα WaveForUs χρηματοδοτείται από τη δράση «ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ 2011»: Συμπράξεις Παραγωγικών και Ερευνητικών Φορέων σε Εστιασμένους Ερευνητικούς και Τεχνολογικούς Τομείς στα πλαίσια του Επιχειρησιακού Προγράμματος "Ανταγωνιστικότητα και Επιχειρηματικότητα" (ΕΠΑΝ II, ΕΣΠΑ 2007-13).και υλοποιείται από: (α) το Εργαστήριο Θαλάσσιας Τεχνικής και Θαλασσιών Έργων του Α.Π.Θ., (β) την εταιρία ΟΜΙΚΡΟΝ, Σχεδιασμός, Μελέτη και Διαχείριση Περιβαλλοντικών και Τεχνικών Έργων ΕΠΕ, (γ) την ΔΙΟΝ Τηλεόραση ΑΕ, (δ) το Εργαστήριο Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του Α.Π.Θ. και (ε) την Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Skamarock W.C., J.B. Klemp, J. Dudhia, D.O. Gill, D.M. Barker, M.G. Duda, X.-Y. Huang, W. Wang and J.G. Powers (2008) 'A description of the Advanced Research WRF Version 3', NCAR/TN-475
2. Wang W., C. Bruyère, M. Duda, J. Dudhia, D. Gill, H.-C. Lin, J. Michalakes, S. Rizvi, X. Zhang, J. Beezley, J. Coen and J. Mandel (2010) 'ARW Version 3 Modeling System User's Guide', NCAR-MMM, pp. 354
3. Krestenitis Y.N., Androulidakis Y., Kontos Y. and Georgakopoulos G. (2010) 'Coastal inundation in the north-eastern Mediterranean coastal zone due to storm surge events', Journal of Coastal Conservation, DOI: 10.1007/s11852-010-0090-7
4. Tolman, HL (2009) "User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 2.22", NOAA / NWS / NCEP / OMB, Technical Note, No. 276, 194 pp.
5. Blumberg, A.F. and Mellor G.L. (1987) 'A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model', Three-Dimensional Coastal Ocean Models, (N.S. Heaps editor), American Geophysical Union, Washington, DC, pp. 1-16