

**Μοντέλα προσομοίωσης ατμοσφαιρικών-κυματικών παραμέτρων και υποστήριξη
εφαρμογών άμυνας**

Γεώργιος Γαλάνης

Τομέας Μαθηματικών, Σχολή Ναυτικών Δοκίμων

Χατζηκυριάκειο, Πειραιάς 18539

ggalanis@snd.edu.gr

Τα τελευταία χρόνια οι επιστημονικές δραστηριότητες σε θέματα περιβάλλοντος έρχονται αντιμέτωπες με ένα νέο ιδιαίτερα απαιτητικό και ανταγωνιστικό περιβάλλον. Ζητήματα όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη, τα ερωτήματα σχετικά με την κλιματική αλλαγή, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αλλά και οι απαιτήσεις επιχειρησιακών δραστηριοτήτων θέτουν νέα δεδομένα αυξάνοντας την ανάγκη για αξιόπιστα εργαλεία παρακολούθησης και πρόγνωσης παραμέτρων περιβάλλοντος.

Στο πλαίσιο αυτό, ο Τομέας Μαθηματικών της Σχολής Ναυτικών Δοκίμων σε συνεργασία με το Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών, την Υδρογραφική Υπηρεσία, το Ωκεανογραφικό Κέντρο του Πανεπιστημίου της Κύπρου και το Naval Ocean Analysis and Prediction Laboratory of the US-Naval Postgraduate School, συμμετέχει στην ανάπτυξη μια σειράς υπολογιστικών συστημάτων τα οποία επιτρέπουν την πρόγνωση-προσομοίωση παραμέτρων περιβάλλοντος όπως: το σημαντικό ύψος και η διεύθυνση κύματος, το μέγιστο αναμενόμενο ύψος κύματος, η περίοδος κυματισμού, η υγρασία και η θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας, κ.α.

Ιδιαίτερα η προσομοίωση κυματικών διεργασιών είναι ζήτημα πρώτης προτεραιότητας για σημαντικές εφαρμογές τόσο σε καθαρά επιστημονικό όσο και σε επιχειρησιακό και πολιτικό-οικονομικό επίπεδο:

- Υποστήριξη δραστηριοτήτων – επιχειρήσεων ΠΝ
- Έγκαιρη πρόγνωση ακραίων θαλάσσιων καιρικών φαινομένων
- Ασφάλεια και η εξοικονόμηση πόρων
- Επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης
- Εκτίμηση της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από τον θαλάσσιο κυματισμό

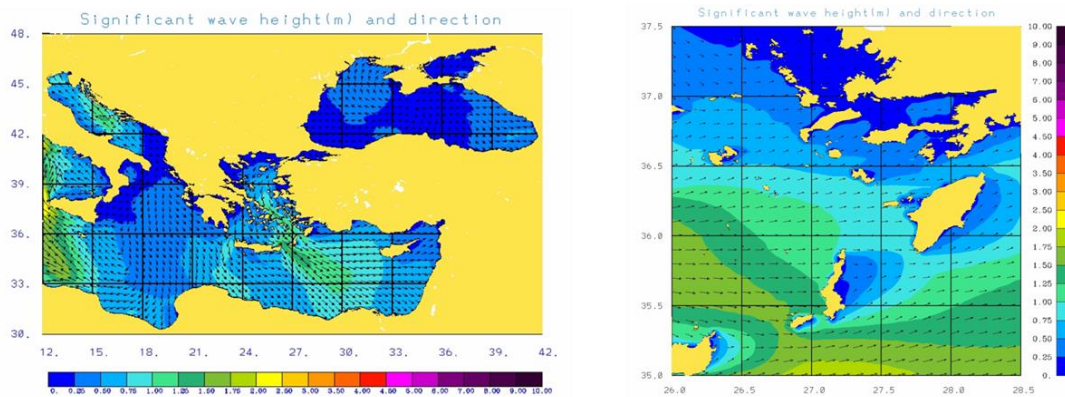
- Πρόγνωση/προσομοίωσης εξάπλωσης θαλάσσιας ρύπανσης
- Αλλαγές στο θαλάσσιο κλίμα ή μικροκλίμα

Η μελέτη κυματικών (αλλά και ατμοσφαιρικών) φαινομένων στηρίζεται σήμερα σε μεγάλο βαθμό στη χρήση αριθμητικών μοντέλων. Πρόκειται για συστήματα που στόχο έχουν την προσεγγιστική-υπολογιστική αναπαράσταση φυσικών, ενεργειακών και χημικών διεργασιών της ατμόσφαιρας και του ωκεανού. Σε κάθε μοντέλο επιλύεται ένα ευρύ σύνολο εξισώσεων (βασικοί νόμοι της θερμοδυναμικής και υδροδυναμικής) οι οποίες αντιστοιχούν στους φυσικούς νόμους που διέπουν τις περιβαλλοντικές διεργασίες.

Στη Σχολή Ναυτικών Δοκίμων χρησιμοποιείται το κυματικό μοντέλο WAM (WAMDIG, 1988; Galanis et al., 2012; Bidlot et al., 2007). Πρόκειται για ένα από τα αρτιότερα και πιο διαδεδομένα κυματικά μοντέλα στον κόσμο. Χρησιμοποιείται σήμερα από μεγάλο αριθμό ερευνητικών ομάδων και επιχειρησιακών κέντρων (ECMWF, UK Met Office, US Navy, NOAA, NCEP) για εφαρμογές σε τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο. Το μοντέλο επιλύει την χωροχρονική εξέλιξη του διδιάστατου κυματικού φάσματος $N(f, \theta, \phi, \lambda, t)$ ως προς την συχνότητα f , τη διεύθυνση θ , το γεωγραφικό πλάτος ϕ και το γεωγραφικό μήκος λ , λαμβάνοντας υπόψη: τη δράση του ανέμου, τις μη γραμμικές αλληλεπιδράσεις των κυμάτων, και την κυματική απόσβεση, δίνοντας αποτελέσματα για μία σειρά από σημαντικές παραμέτρους του θαλάσσιου κυματισμού:

- Ύψος και διεύθυνση κύματος
- Μέση και μέγιστη περίοδος κυματισμού
- Μέγιστο αναμενόμενο ύψος κύματος
- Ύψος και διεύθυνση μεταφερόμενου κύματος (Swell)
- Ύψος και διεύθυνση ανεμογεννούς συνιστώσας κύματος
- Πλήρες φάσμα ενέργειας θαλάσσιου κυματισμού ανά συχνότητα και διεύθυνση

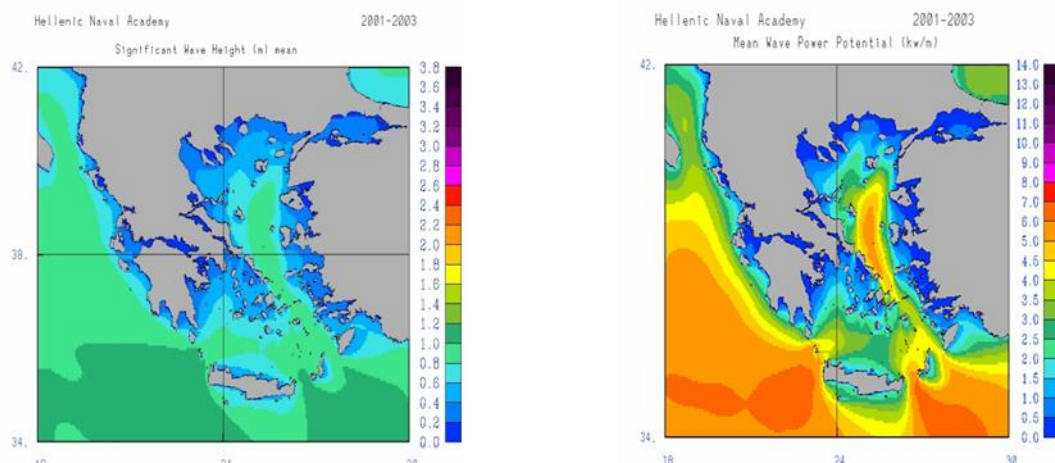
Το συγκεκριμένο μοντέλο, όπως έχει προσαρμοστεί και αναπτυχθεί στη ΣΝΔ, ενσωματώνει παρατηρήσεις από δορυφόρους και buoys καθώς και στατιστικές διαδικασίες βελτιστοποίησης και τοπικής προσαρμογής των αποτελεσμάτων (Emmanouil et al., 2016; Galanis et al., 2011) καλύπτοντας την Ανατολική Μεσόγειο με έμφαση σε επιλεγμένες περιοχές του Ελλαδικού χώρου (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Το σύστημα προσομοίωσης θαλάσσιου κυματισμού στη Σχολή Ναυτικών Δοκίμων

Το παραπάνω σύστημα προσομοίωσης παρέχει καθημερινή πρόγνωση ανέμου και θαλάσσιου κυματισμού για περιοχές του ευρύτερου Ελλαδικού χώρου για την Υδρογραφική Υπηρεσία και το Αρχηγείο Στόλου ενώ χρησιμοποιείται και σε ερευνητικές-εκπαιδευτικές δραστηριότητες της ΣΝΔ, όπως το πρόγραμμα «Ανάπτυξη και εφαρμογή νέων μαθηματικών και φυσικών μοντέλων για την εκτίμηση της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από τον άνεμο και τον θαλάσσιο κυματισμό» που φιλοξενήθηκε από τον Τομέα Μαθηματικών της ΣΝΔ σε συνεργασία με το Ωκεανογραφικό Κέντρο του Πανεπιστημίου Κύπρου την περίοδο 2012 – 2015. Κύριος στόχος του προγράμματος ήταν η ανάπτυξη νέων, διεπιστημονικών μεθοδολογιών και εργαλείων για την εκτίμηση της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από τον θαλάσσιο κυματισμό στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου με έμφαση στον Ελλαδικό χώρο (Emmanouil et al., 2016). Το έργο χρηματοδοτήθηκε στα πλαίσια της δράσης «Ενίσχυση Μεταδιδασκτόρων Ερευνητών» της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας και στα τελικά αποτελέσματά του περιλαμβάνονται:

- Ένας υψηλής ευκρίνειας ηλεκτρονικός άτλαντας στον οποίο αποτυπώνονται οι εκτιμώμενες ποσότητες ενεργειακού δυναμικού από άνεμο και κύμα στην θαλάσσια περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου με ιδιαίτερη έμφαση στον Ελλαδικό χώρο
- Νέες μαθηματικές μέθοδοι και την ασφαλή εκτίμηση της χωρικής και χρονικής κατανομής της διαθέσιμης ενέργειας



Σχήμα 2. Ενδεικτικά αποτελέσματα κατανομής του Σημαντικού Ύψους Κύματος και της Κυματικής Ενέργειας στην ευρύτερη περιοχή του Ελλαδικού χώρου.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Bidlot J, Janssen P, Abdalla S, Hersbach H (2007), A revised formulation of ocean wave dissipation and its model impact. ECMWF Tech. Memo. 509. ECMWF, Reading, United Kingdom, 27pp. available online at: <http://www.ecmwf.int/publications/>

Emmanouil G., Galanis G. and Kallos G. (2012), Combination of statistical Kalman filters and data assimilation for improving ocean waves analysis and forecasting, *Ocean Modelling*, 59–60, 11–23.

Emmanouil G., Galanis G., Kalogeri C., Zodiatis G., and Kallos G. (2016), 10-year high resolution study of wind, sea waves and wave energy assessment in the Greek offshore areas, *Renewable Energy* 90, 399-419.

Galanis G., Chu P.C. Kallos G. (2011), Statistical post processes for the improvement of the results of numerical wave prediction models. A combination of Kolmogorov-Zurbenko and Kalman filters, *Journal of Operational Oceanography*, 4 (1), 23-31.

Galanis G., Hayes D., Zodiatis G., Chu P.C., Kuo Y.H., and Kallos G. (2012), Wave height characteristics in the Mediterranean Sea by means of numerical modeling, satellite data, statistical and geometrical techniques, *Marine Geophysical Research* 33, 1–15.

WAMDIG (1988), The WAM-Development and Implementation Group: Hasselmann S, Hasselmann K, Bauer E, Bertotti L, Cardone CV, Ewing JA, Greenwood JA, Guillaume A, Janssen P, Komen G, Lionello P, Reistad M, Zambresky L, The WAM Model - a third generation ocean wave prediction model, *Journal of Physical Oceanography*, 18 (12), 1775–1810.